

DIVISION MSRGI

MÉCANIQUE DES SOLS ET DES ROCHES
ET GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR

RAPPORT D'ACTIVITÉ (2001-2004)

Mars 2005

Sommaire

A – Présentation générale de la division MSRGI 5

A1 – Missions et objectifs 7
A2 – Organisation et implantation 12
A3 – Liste du personnel 14
A4 – Moyens techniques 18
A5 – Budget 19

B – Activités scientifique et technique 21

B1 – Bilan de la mise en œuvre des recommandations de la précédente évaluation 23
B2 – Positionnement et stratégie de la division MSRGI 29
1. Positionnement dans l'organisme (CETE, LCPC) et le ministère 29
2. Positionnement dans la communauté scientifique nationale ou internationale 31
3. Positionnement par rapport au secteur industriel 33

B3 – Analyse des produits et résultats scientifiques et techniques significatifs 35
1. Risques naturels 35
2. Comportement des matériaux naturels 52
3. Ouvrages complexes et géotechnique urbaine 68

B4 – Collaborations et partenariats 84
1. Projets européens 84
2. Actions internationales 85
3. Actions nationales 87
4. Contrats 89
5. Participation aux écoles doctorales 90

B5 – Priorités scientifiques pour les quatre années à venir 91

C – Productions, enseignement, administration 99

C1 – Productions 101
1. Politique éditoriale de la division MSRGI 101
2. Publications scientifiques et techniques 102
3. Organisation de congrès 107
4. Productions techniques et informatiques 109
5. Études et expertises 110

C2 – Enseignement et stagiaires 113
C3 – Administration de la recherche – Animation scientifique et technique 119

D – Annexes 125

D1. Liste des publications 127
D2. Liste des mémoires de thèses 151
D3. Liste des stagiaires de courte durée 152
D4. Liste des équipements 155
D5. Recommandations du conseil scientifique du LCPC, suite à l'évaluation (1997-2001) 157
D6. Liste des sigles utilisés 159

A – Présentation générale

A1 – Missions et objectifs 7
1. Missions de la division MSRGI 7
2. Projet scientifique de la division MSRGI 8
3. Projet scientifique de la division et schéma directeur du LCPC 9

A2 – Organisation et implantation 12

A3 – Liste du personnel 14

A4 – Moyens techniques 18

A5 – Budget 19

A1 - Missions et objectifs

La division de Mécanique des Sols, des Roches et de Géologie de l'Ingénieur (MSRGI) a été créée en 1993. Elle est issue du regroupement de deux divisions du LCPC-Paris : la division de « Géotechnique, Géologie de l'ingénieur et Mécanique des roches » et la division de « Géotechnique et Mécanique des Sols 1 ». La division MSRGI a été dirigée par J.-L. Durville de 1993 à janvier 2002, et par Ph. Mestat depuis février 2002.

1. Missions de la division MSRGI

La division de Mécanique des Sols, des Roches et de Géologie de l'Ingénieur (MSRGI) est l'une des trois unités du LCPC dont les activités sont consacrées à la Géotechnique, dans son sens le plus large qui englobe les applications de la Mécanique des sols et des roches, de la Géologie de l'ingénieur et des Sciences de la terre. Elle partage ce domaine technique avec la division de Reconnaissance et Mécanique des Sols (RMS) et le CERMES (Centre d'Enseignement et de Recherche en Mécanique des Sols, commun au LCPC et à l'ENPC). Font également partie du domaine géotechnique les activités concernant les granulats (division Technologies du Génie Civil et Environnement) et la géotechnique routière (division Matériaux et Structures des Chaussées).

Les trois unités de géotechnique entretiennent d'étroites relations entre elles et avec certaines des autres unités du LCPC. Elles sont aussi le centre d'un vaste réseau de chercheurs et d'ingénieurs des Laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées et des centres spécialisés du réseau technique du Ministère de l'Equipement. Ce réseau au contact du terrain et des problèmes concrets constitue une aide précieuse pour les recherches menées en Géotechnique.

La division MSRGI fait également partie depuis 2003 de l'Institut Navier, structure fédérative de recherche rassemblant la division MSRGI, trois laboratoires mixtes de l'ENPC et du LCPC (LMSGC, LAMI, CERMES) et le Laboratoire de Mécanique de l'Université de Marne la Vallée. Cet Institut a pour ambition de créer un pôle de compétence dans les domaines de la Mécanique, de la Géotechnique et de la Physique des matériaux et des structures. Il a permis de renforcer les coopérations avec le CERMES et le LMSGC.

Les missions de la division MSRGI ont été définies de la façon suivante par une note du directeur du LCPC (1998) :
- *recherches, études et expertises, au plan national ou international, en géologie du génie civil, en mécanique des sols, en mécanique des roches et en géotechnique de l'environnement ;*
- *participation à l'animation du Réseau technique*[1]*, à l'enseignement, à l'encadrement de thèses et à la normalisation dans les domaines ci-dessus.*

Conformément à ces missions, la division MSRGI exerce cinq grandes activités :
- recherches finalisées en Mécanique des sols, en Mécanique des roches et en Géologie du génie civil (étude des sites, des matériaux naturels et des ouvrages dans leur environnement) ;
- études, expertises, conseil technique ;
- animation du Réseau technique, notamment des Laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées et des ERA[2] (formation, information, appui technique), valorisation des produits finis et actions internationales ;
- mise au point de méthodes d'étude, d'essai et de dimensionnement (y compris la normalisation) ;
- enseignement : formation initiale, formation continue, accueil de doctorants et stagiaires.

[1] Réseau technique de l'Equipement : ensemble des organismes scientifiques et techniques dépendant du ministère de l'Equipement.
[2] Equipes de Recherche Associées (en géotechnique : LRPC d'Aix-en-Provence, de Lyon, de Nice, de Rouen, de Toulouse)

La précédente évaluation de la division MSRGI a eu lieu en mars 2001 et a couvert la période 1997-2000. Les conclusions de cette évaluation sont jointes pour mémoire en annexe D5.

Le présent rapport d'activité de la division MSRGI décrit, pour la période 2001-2004, ses activités de recherche et d'études, son organisation, ses moyens, la participation de ses agents à l'enseignement et aux actions de normalisation, et ses coopérations nationales et internationales.

2. Projet scientifique de la division MSRGI

Les activités majeures de la division MSRGI sont regroupées en trois grandes orientations.

- ***Risques naturels***

Les études et recherches concernent les séismes, les effondrements de cavités souterraines d'origine naturelle ou artificielle, les glissements de terrain et chutes de blocs, etc. Les objectifs sont, d'une part, la connaissance de l'aléa (facteurs géologiques, cartographie, modélisation des phénomènes, prévision de l'occurrence, etc.) et, d'autre part, l'évaluation des techniques de prévention-protection, la vulnérabilité des structures (interaction sol-structure en statique ou en dynamique), la prévision des dommages dus aux mouvements de terrain, et la gestion du risque.

- ***Comportements des matériaux naturels ou artificiels***

La rhéologie et la pathologie des sols, des roches, des pierres naturelles et artificielles, des granulats, l'influence des fines sur les bétons, le rôle de la phase argileuse d'un sol, le « vieillissement » des roches, les études de sites pollués, le confinement des décharges, la réutilisation et la valorisation de déchets, l'amélioration des sols, etc., sont des activités importantes de la recherche en Géotechnique. Celles-ci reposent sur la caractérisation mécanique de ces matériaux et sur la mise en relation de la nature minéralogique et de la microstructure avec les propriétés d'usage.

- ***Ouvrages géotechniques complexes et géotechnique en milieu urbain***

Les grandes fouilles, les fondations spéciales, les soutènements, les tunnels en terrain meuble, les tranchées pour réseaux divers, les carrières souterraines abandonnées, etc., posent des problèmes techniques particuliers : conception, dimensionnement, interaction avec le milieu urbain (déformations, contraintes, régime hydraulique, statique, dynamique). La recherche concernant ces ouvrages allie expérimentation avec instrumentation *in situ* et modélisation numérique. Le dimensionnement repose en partie sur la méthode dite « observationnelle » (ou dimensionnement actif, qui profite de la mesure pour enrichir et compléter le calcul). La gestion des données géotechniques, nombreuses en zone urbaine, et leur exploitation méritent également une recherche spécifique.

Ces trois orientations ne sont pas cloisonnées ; les ingénieurs et chercheurs de la division MSRGI ont des compétences multiples qui leur permettent souvent de participer aux recherches liées à deux (voire trois) orientations. On retrouve cette pluridisciplinarité dans la structure même des opérations de recherche qui fédèrent les compétences autour d'un projet à moyen terme.

Le développement de matériels d'essais innovants et originaux est également une activité importante de la division. L'accroissement de nos connaissances et l'obtention d'une meilleure fiabilité dans la détermination des valeurs des paramètres sont essentiels pour faire progresser les méthodes de calcul prévisionnel. C'est notamment le cas pour l'estimation des modules de déformation des sols en place.

Enfin, les activités d'études et d'expertise constituent une autre activité essentielle et complémentaire de nos recherches. Ces activités participent à l'accroissement des connaissances, au test de nouvelles techniques ou à la validation de nouvelles méthodes de calcul.

3. Projet scientifique de la division et schéma directeur du LCPC (2000-2004)

Les études et recherches de la division MSRGI entrent dans le cadre de quatre des cinq orientations prioritaires du schéma directeur 2000 – 2004 du LCPC.

Orientation 1. « Mieux conserver le patrimoine d'infra-structures et d'ouvrages existants »

. Pathologies des fondations (reprise en sous-œuvre, renforcement des sols)
. Dégradations des bétons dans les ouvrages
. Pathologies des pierres de construction, dans les bâtiments actuels, dans les ouvrages d'art anciens ou dans les monuments historiques
. Diagnostic, maintenance et inspection des ouvrages géotechniques

Orientation 3. « Maîtriser les impacts des infrastructures sur l'environnement tout le long de leur cycle de vie ; sécuriser les ouvrages et les sites par une meilleure connaissance et maîtrise des risques »

. Mouvements de terrain (effondrements de carrières souterraines, glissements de terrain, chutes de blocs, éboulements, sols gonflants)
. Séismes
. Économie des matériaux de génie civil, réutilisation et valorisation de déchets
. Géotechnique de l'environnement (étude des sites pollués, hydrogéologie)

Orientation 4. « Optimiser les ouvrages de génie civil en zones urbaines en prenant en compte leur caractère multi-usage »

. Grandes fouilles (stabilité, déformations)
. Tunnels en terrain meuble (stabilité, déformations induites en surface)
. Modélisation des interactions entre le terrain et les ouvrages existants ou en construction
. Comportement des sols sous sollicitations complexes

Orientation 5. « Favoriser l'introduction de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies dans le génie civil et l'exploitation des infrastructures routières »

. Mesures *in situ*, gestion des données
. Automatisation des essais
. Renforcement des sols (dont géotextiles)

Ces orientations sont réalisées dans le cadre de dix comités de programme, chacun comportant un certain nombre d'opérations de recherche. Une opération de recherche fédère, autour d'un objectif ciblé, le LCPC, des LRPC et des partenaires extérieurs sur une durée limitée à quatre années.

Par ailleurs, des recherches sont aussi menées dans le programme sectoriel J « Géotechnique », qui complète les programmes directement déclinés à partir des orientations prioritaires du LCPC. Orienté vers des recherches relatives à la conception et à l'exécution, il concerne les ouvrages géotechniques, le comportement du matériau « sol naturel » et l'élaboration de nouveaux outils de caractérisation en place ou en laboratoire.

Le projet scientifique de la division MSRGI est ainsi parfaitement inséré dans ces orientations prioritaires et dans le programme sectoriel J. Le tableau 1 illustre la répartition des temps passés (exprimés en pourcentages) selon les orientations du LCPC. Ces chiffres varient d'une année sur l'autre, car ils sont fortement influencés par l'arrêt de certaines opérations, la gestion des phases transitoires entre opérations, le démarrage de nouvelles opérations, le départ de certains agents et par la présence de doctorants. Malgré ces changements importants, on note une relative stabilité dans la répartition des activités de recherche et une diminution progressive des activités hors orientations prioritaires (programme J). Même si le volume des activités classées hors activités prioritaires reste encore élevé, il convient de remarquer qu'une part importante de ces recherches sont proches des

préoccupations concernant l'accroissement des connaissances dans le domaine du comportement des matériaux et des ouvrages en interactions avec leur environnement (orientations 1, 3 et 4).

Le tableau 2 représente ces mêmes activités de recherche en fonction du projet scientifique de la division MSRGI. L'objectif est d'assurer une répartition équilibrée entre les trois orientations de la division. L'exercice est difficile à cause des mouvements de personnel et les démarrages et fins de thèse, mais en moyenne l'équilibre entre les orientations est pratiquement atteint.

Tableau 1. Répartition des recherches de la division MSRGI selon les orientations prioritaires (exprimée en pourcentage des temps passés cumulés pour la division)

Orientations prioritaires du LCPC	2001	2002	2003	2004	2005
1. Conserver le patrimoine	2,5	2,5	10	11	6,5
3. Risques	32	41	34,5	36,5	39,5
4. Génie urbain	18,5	18	25	10	13,5
5. Nouvelles technologies	2,5	3	2,5	3,5	6,5
Hors orientations prioritaires (J)	44,5	35,5	28	39	34

Tableau 2. Positionnement des recherches par rapport au projet scientifique de la division MSRGI et aux orientations prioritaires du LCPC (temps passés exprimés en %)

Projet scientifique MSRGI Orientations générales	Orientations LCPC	2001	2002	2003	2004	2005
Comportements des matériaux naturels ou artificiels	2, J	45	26	11	15	24
Ouvrages géotechniques complexes et géotechnique urbaine	1, 2, J	31	41	52,5	38	37,5
Risques naturels	3	24	33	36,5	47	38,5

Tableau 3. Participation de la division MSRGI aux opérations de recherche (en homme.mois)

Opérations de recherche Participations de la division MSRGI	2001	2002	2003	2004	2005
Durabilité du béton et de ses constituants (2001-2004)	6	-	-	-	-
Recyclage et matériaux non conventionnels (2002-2005)	5	-	-	-	-
Conception parasismique (1997-2001)*	-	-	-	-	-
Carrières souterraines abandonnées (1998-2002)	25	16	-	-	-
Sols gonflants (1998-2002)	16,5	-	-	-	-
Sols grossiers (1999-2002)	1,5	1	-	-	-
Déformation des sols et essais en place (1999-2002)	10	5	-	-	-
Mesure et traitement de l'information (2001-2003)	-	1	-	-	-
Projet CLEO (2000-2002)	1,5	3	-	-	-
Diagnostic et réparation des ouvrages (2002-2005)	2	4	18,5	18	14,5
Mouvements de terrains (2002-2004)	5,5	39	44	28,5	-
Effets des travaux en site urbain (2001-2004)	19	41	44	26,5	-
Matériaux complexes et hétérogènes (2001-2004)	3	2,5	2,5	2,5	-
Propriétés des sols et des roches (2001-2005)	36	31	11,5	26	43,5
Modélisation numérique et physique (2001-2004)	9	11,5	5	3	-
Fondations et interactions sol-structures (2002-2005)	19	17	24	21	14
Granulats (2002-2005)	3	14	8	8	5,5
Risques sismiques (2003-2005) LCPC / LGIT	10	10	22	50	40
Collage en génie civil (2000-2003)	-	-	0,5	-	-
Terrassements et remblais (2003-2006)	-	-	-	9,5	11,5
Risques rocheux (2005-2008)	-	-	-	25	43,5
Amélioration de CESAR (2005-2008)	-	-	-	4	13
Hydraulique et remblais (2005-2009)	-	-	-	-	2,5
Mouvements liés aux travaux urbains (2005-2008)	-	-	-	-	29
Routes du futur (2005-2008)	-	-	-	-	1
Total recherche (h.mois)	172	196	180	222	218

* Temps passé marginal et comptabilisé dans la préparation de l'opération « Risques sismiques » pour les années 2001 et 2002

Les temps passés inférieurs à 5 h.mois correspondent généralement à des appuis ponctuels aux recherches en termes d'utilisation de matériels (notamment le Microscope Electronique à Balayage), de réalisation d'essais à court terme ou d'assistance pour la modélisation numérique dans CESAR-LCPC.

A2 – Organisation et implantation

Conformément à l'accréditation ISO 9001 du LCPC, délivrée en octobre 2002 par la société LRQA, l'organisation de la division MSRGI est décrite dans le document annuel intitulé « Manuel d'Organisation de la division MSRGI ». Ce document, qui fait partie du système Qualité du LCPC, définit notamment les responsabilités (et leurs délégations), l'organisation administrative, les orientations prioritaires annuelles, les compétences et les processus internes de fonctionnement. En complément aux documents applicables à l'ensemble du LCPC, ce manuel s'appuie sur cinq plans Qualité liés aux différentes équipes (essais in situ, calcul numérique) ou laboratoires (roches, sols, microscopie).

La division MSRGI est structurée en une unité centrale (chef de division et chargés de mission, 5 personnes et 1 DR émérite) et trois sections (24 personnes), qui ont de fortes relations entre elles et qui collaborent dans le cadre de plusieurs opérations de recherche, d'études et expertises ou de réponses à des appels d'offre (projets RGCU ou projets européens).

La section de *Géologie, mécanique des roches et géotechnique de l'environnement* (GMRGE) mène des recherches fondées sur l'observation géologique, à l'échelle du site (géologie structurale, télédétection) et à l'échelle de l'échantillon de roches ou de pierres artificielles (microscopie optique et électronique, essais physiques et mécaniques) (7 personnes, 1 post-doc et 3 doctorants, dont 2 en collaboration avec le CERMES). Cette section gère le laboratoire de Mécanique des roches et le laboratoire de Microscopie.

La section du *Comportement des sols et des ouvrages géotechniques* (CSOG) pratique des recherches expérimentales en Mécanique des sols, fondées sur les essais et mesures, en laboratoire ou sur chantier, qui permettent de décrire et de quantifier le comportement des terrains et des ouvrages géotechniques (9 personnes, 3 doctorants). Cette section est composée de deux équipes : l'une menant des expérimentations sur ouvrages in situ et l'autre gérant le laboratoire de Mécanique des sols et le développement de matériels de reconnaissance des sols.

La section du *Calcul des ouvrages géotechniques* (COG) conduit des recherches dans le domaine de la modélisation numérique, en particulier par éléments finis et éléments discrets. La finalité est de prévoir par le calcul le comportement des terrains et des ouvrages (8 permanents, 1 post-doc, 1 doctorant). Cette section met en œuvre deux appproches : l'une fondée sur la modélisation des milieux continus (logiciel CESAR-LCPC) et l'autre fondée sur l'étude des milieux discontinus et des interactions entre blocs (logiciels UDEC2D et STAR3D).

Les chargés de mission *Risque sismique* mènent des recherches dans le domaine de la sismologie de l'ingénieur (2 personnes). Ils sont aidés par des stagiaires et des doctorants sur financement LCPC ou LGIT, ou encore sur des financements européens.

Tous les agents de la division MSRGI sont à Paris, sauf les chargés de missions *Risque sismique* qui sont basés à Grenoble, dans les locaux du Laboratoire de Géophysique Interne et de Tectonophysique (LGIT, Université Joseph Fourier). Le LGIT est devenu en 2004 une UMR, commune à l'Université Joseph Fourier, au CNRS, au LCPC et à l'IRD.

La figure 1 présente l'organigramme de la division MSRGI au 31 décembre 2004.

Chef de division Philippe Mestat (DR) Secrét. : D. de Meyer	LGIT : P.-Y. Bard (ICPC) et Ph. Guéguen (CR), Chargés de missions : A. Maldonado (DR), A. Le Roux (DR émérite)	
Section GMRGE S. Guédon-Dubied (IDTPE) Secrét. : L. Lefort	Section CSOG Ph. Reiffsteck (CR) Secrét. : M. Agboton	Section COG E. Bourgeois (ICPC) Secrét. : N. Weiss
A. Pouya (DR) C. Léonard (CR) F. Elmi (CDD)	M. Bustamante (DR) F. Rocher-Lacoste (ITPE)	P. Alfonsi (CR) N. Droniuc (CR) E. Dimnet (ITPE) S. Dal Pont (CDD)
A. Maloula (TS) F. Martineau (TS) M. Laulom (TS)	F. Chiappini (TS) B. Doix (TS) L. Gianeselli (TS) S. Mascles (TS) J.-L. Tacita (T)	J.-C. Berche (TS) P. Papon (TS) P. Simon (TS)
Doctorants M. Bost (ITPE) P. Lazar (CERMES) G. Priol (CERMES)	Doctorants L. Ghozali N.T. Pham B. Bohi	Doctorants A. Bakkari

Figure 1. Organigramme de la division MSRGI au 31 décembre 2004

A3 - Liste du personnel

Le personnel de la division MSRGI comprend au 31 décembre 2004 : 15 ingénieurs ou chercheurs (2 ICPC, 1 IDTPE, 2 ITPE, 4 DR, 1 DR émérite, 5 CR), 10 techniciens supérieurs, 1 technicien, et 3,5 secrétaires, soit 29,5 permanents au total, auxquels il faut ajouter 2 post-docs, 5 doctorants LCPC, 2 doctorants CERMES-LCPC et des stagiaires de courte durée. Sur la période des quatre années considérée, l'effectif des permanents est stable (figure 2), mais si l'on remonte à 1997, huit postes n'ont pas été remplacés, dont certains correspondent à des départs récents.

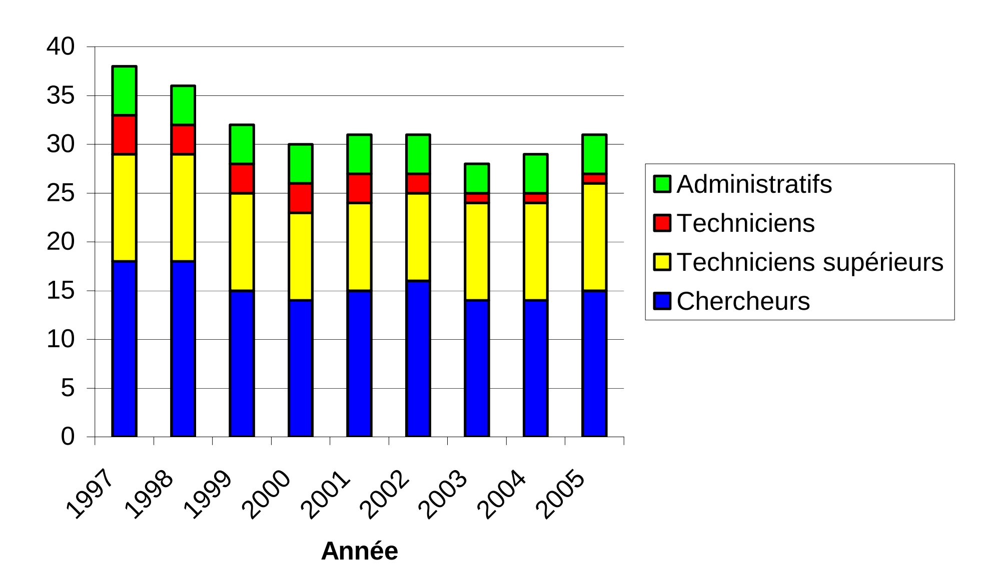


Figure 2. Évolution des effectifs permanents de la division MSRGI

Tableau 4. Évolution des effectifs de la division MSRGI

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Chercheurs	18	18	15	14	15	16	14 (1)	14 (1)	15* (2)
TS	11	11	10	9	9	9	10	10	11**
T	4	3	3	3	3	2	1	1	1
AA	4,5***	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	2,5	3,5	3,5
Total permanents	37,5	35,5	31,5	29,5	30,5	30,5	27,5 (1)	28,5 (1)	30,5 (2)
D	4	3	3	7	6	6	7	6	4
CDD	0	0	0	0	3	1	3	2	2
Total général	41,5	38,5	34,5	36,5	39,5	37,5	37,5 (1)	36,5 (1)	36,5 (2)

Le chiffre indiqué entre parenthèses pour les années 2003, 2004 et 2005 correspond au nombre de directeurs de recherche émérites (en retraite).
* dont deux chargés de recherche à recruter en 2005
** dont un technicien supérieur à recruter en 2005 pour le LCPC/LGIT (Grenoble)
*** l'assistante secrétaire du chef de division travaille à temps partiel pour M. Rat (directeur technique LCPC-CGPC)

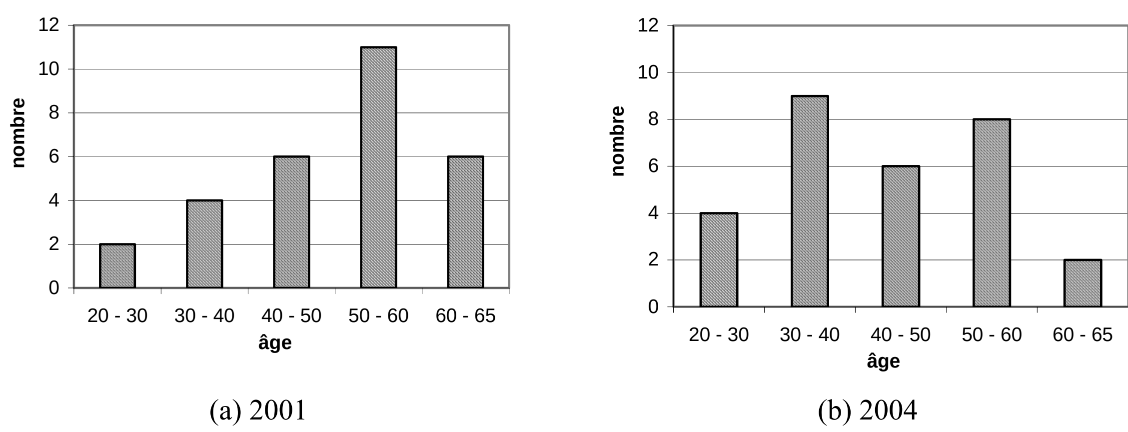
Le tableau 5 présente la liste du personnel, avec indication de la tranche d'âge et des diplômes. Sont également indiquées les personnes qui ont quitté la division sur la période 2001-2004. La date suivie d'une flèche indique la date d'arrivée d'une personne et une flèche suivie d'une date indique la date de départ.

Le tableau 5 montre le flux des arrivées et des départs pendant la période 2001-2004. Il y a eu ainsi 14 départs et 12 recrutements. Ces renouvellements représentent environ 40% du personnel et ont conduit à un rajeunissement important de la division et posé des problèmes de transfert de

connaissances. L'histogramme des âges du personnel de la division MSRGI au 31 décembre 2004 est illustré sur la figure 3 et comparé avec celui estimé en 2001. La moyenne d'âge est passée de 50 ans à 43 ans.

Ces chiffres cachent aussi la forte diminution du nombre des ingénieurs (IPC, ITPE, PNT A), au profit du corps des chargés de recherche. Par ailleurs, les difficultés de recrutement et la mobilité des personnels sont des sources importantes de perturbations, qui nuisent aux activités de la division, notamment dans le domaine des expertises et de la normalisation, et à la capitalisation de connaissances.

Le tableau 5 ne mentionne pas les trois recrutements prévus dans le courant de l'année 2005 :
- un technicien supérieur pour le LGIT (Grenoble) ;
- un chargé de recherche dans le domaine de la physico-chimie des sols appliquée aux risques naturels ;
- un chargé de recherche dans le domaine de l'interaction sol-structures.



(a) 2001 (b) 2004

Figure 3. Histogrammes des âges des personnels permanents de la division MSRGI

Le tableau 6 liste les post-docs accueillis au cours de cette même période.

Vingt-cinq doctorants ont été encadrés ou co-encadrés durant tout ou partie de la période de référence par la division MSRGI (Paris, tableau 7a) et sept par P.-Y. Bard (LCPC/LGIT, Grenoble, tableau 7b). Les tableaux 7a et 7b ci-après décrivent le nom du doctorant, le sujet de la recherche, le nom du directeur de thèse, le nom du conseiller d'étude, une éventuelle collaboration avec un autre organisme et la date de la soutenance (passée ou future). Ce nombre important de doctorants est dû à un certain nombre de co-encadrements, et cache une diminution du nombre de doctorants encadrés uniquement dans la division par rapport aux années antérieures, alors que la capacité d'encadrement a augmenté (chargés de recherche et HDR). Cela tient aux conditions budgétaires du LCPC et à la difficulté de monter des dossiers de bourse CIFRE sur plusieurs de nos thèmes de recherche fondamentale. Les entreprises s'attendent à ce que ces recherches fondamentales soient financées sur fonds publics (nationaux ou européens). Toutefois en 2005, une thèse en collaboration avec le CERMES devrait débuter avec un co-financement de la société TOTAL.

La division MSRGI accueille également chaque année entre dix et quinze stagiaires de courte durée : stage de DEA (ou de Mastère Recherche maintenant), Projet de Fin d'Etudes (ENPC, ENTPE, Ecole Polytechnique), etc. La liste complète des stagiaires accueillis sur la période 2001-2004 est jointe en annexe D3 avec les sujets de recherche.

Tableau 5. Liste du personnel de la division MSRGI pour la période 2001-2004

Nom	*Unité*	*Compétence*	*Catégorie (statut)*	*Age*	*Diplô-me*
Agboton Mathilde (1999→)	CSOG	Secrétariat	AA	50-60	
Alfonsi Pietro (1976→)	COG	Modélisation numérique	CR	50 - 60	DEA
Bard Pierre-Yves (1984→)	LGIT	Sismologie de l'ingénieur	ICPC	40 - 50	I, D, H
Berche Jean-Claude (1968→)	COG	Informatique	PNT- TS	50 - 60	
Bourgeois Emmanuel (1998→)	COG	Tunnels, modélisation numérique	ICPC	30 - 40	I, D
Bustamante Michel (1968→)	CSOG	Fondations	DR	> 60	I, D
Chiappini Fabien (2003→)	CSOG	Essais de mécanique des sols	TSE	< 30	
Dimnet Eric (2002→)	COG	Modélisation numérique	ITPE	30-40	I, D
Doix Bernard (1972→)	CSOG	Essais sur fondations	PNT - TS	50 - 60	
Droniuc Niculai (2002→)	COG	Modélisation numérique	CR	30-40	I, D
Gianeselli Luigi (1966→)	CSOG	Essais sur fondations	PNT - TS	50 - 60	
Guédon-Dubied Sylv. (1991→)	GMRGE	Pétrographie et minéralogie appliquées	IDTPE	40 - 50	I, D
Gueguen Philippe (2001→)	LGIT	Risque sismique, gestion du RAP	CR	30-40	D
Laulom Mathieu (2004→)	GMRGE	Essais de mécanique des roches	TSE	< 30	
Le Roux André (DR émérite)	MSRGI	Pétrographie et minéralogie appliquées	DR	> 60	D
Lefort-Pouvin Lia (2002→)	GMRGE	Secrétariat	AA	20-30	
Léonard Christelle (2002→)	GMRGE	Mouvements de terrain, télédétection	CR	30-40	I, D
Maldonado Alain (1991→)	MSRGI	Ressources en matériaux - Environnement	DR	> 60	I
Maloula Aurélie (2004→)	GMRGE	Essais de mécanique des roches	TSE	< 30	
Martineau François (1986→)	GMRGE	Essais de mécanique des roches - MEB	PNT - TS	40 - 50	
Mascles Sandrine (2003→)	CSOG	Essais sur fondations	TSE	30-40	
Mestat Philippe (1984→)	COG	Rhéologie, modélisation numérique	DR	40 - 50	I, D, H
De Meyer Denise (1967→)	MSRGI	Secrétariat – Comptabilité	PNT - AA	50 - 60	
Papon Patrick (1974→)	COG	Calculs géotechniques	TSE	40 - 50	
Pouya Ahmad (2002→)	GMRGE	Mécanique des roches	DR	40-50	I, D, H
Reiffsteck Philippe (1997→)	CSOG	Rhéologie des sols	CR	30 - 40	I, D
Rocher-Lacoste F. (2002→)	CSOG	Essais sur ouvrages	ITPE	30-40	I
Simon Pierre (1973→)	COG	Bases de données	PNT - TS	50 - 60	
Tacita Jean-Louis (2001→)	CSOG	Laboratoire Mécanique des sols	ET	30-40	
Weiss Nicole (1999→)	COG	Secrétariat	AA	50-60	

Personnel ayant quitté la division au cours de la période 2001-2004					
Amar Samuel (→2002)	MSRGI	Fondations	PNT - A	> 60	I
Berthelon Jean-Pierre (→2002)	COG	Informatique, modélisation numérique	PNT- T	50 - 60	
Borel Serge (→2003)	COG	Fondations	IPC	30-40	I, D
Daurade Marcel (→2003)	COG	Conception de matériels. Bibliothèque.	PNT - TS	50 - 60	
Delauney Patricia (→2001)	GMRGE	Secrétariat	PNT - AA	40 - 50	
Duchâtel François (→2001)	CSOG	Essais courants de mécanique des sols	PNT - TS	> 60	
Durville Jean-Louis (→2002)	MSRGI	Mécanique des roches	ICPC	50 - 60	I, DEA
Laborde Xavier (→2003)	GMRGE	Essais de mécanique des roches	TSE	20 - 30	
Martinet Lionel (→2002)	GMRGE	Essais de mécanique des roches.	ET	30 - 40	
Moreau Fabienne (→2001)	CSOG	Secrétariat	temporaire	< 30	
Nguyen Tanh Long (→2003)	MSRGI	Renforcement des sols	PNT - A	> 60	I, D
Pierre Xavier (→2003)	GMRGE	Essais courants de mécanique des roches	TSE	< 30	
Pothérat Pierre (→2002)	GMRGE	Etudes géologiques	PNT - A	50 - 60	DEA
Stempfelet Jean-Paul (→2002)	CSOG	Essais de mécanique des sols	PNT - TS	50 - 60	

I : diplôme d'ingénieur ; DEA : diplôme d'études approfondies ; D : doctorat (le DEA n'est alors pas mentionné) ; H : habilitation à diriger des recherches.

ICPC : Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées ; ITPE : ingénieur des travaux publics de l'État ; IDTPE : ingénieur divisionnaire des travaux publics de l'État ; CR : chargé de recherche ; DR : directeur de recherche ; TSE : Technicien Supérieur de l'Equipement ; ET : Expert Technique ; AA : Adjoint Administratif ; PNT : personnel non titulaire (A : assistant ; TS : technicien supérieur ; AA : agent administratif).

Tableau 6. Liste des post-docs (2001-2004)

Nom	Sujet	Période	Responsable MSRGI
Elmi F.	Implantation d'éléments joints dans CESAR-LCPC	2004–2005	A. Pouya
Fouché O.	Modélisation 2D et 3D des massifs rocheux fracturés	2003	JL Durville
Léonard C.	Interférométrie radar, thermographie infrarouge	2001-2002	JL Durville
Perlo-Mevellec S.	Modélisation numérique de la portance des fondations profondes	2003-2004	E. Bourgeois
Dal Pont S.	Modélisation numérique des matériaux hétérogènes	2004-2005	E. Dimnet
Russo R.	Projet européen IMIRILAND – Risques naturels	2001-2002	JL Durville

Tableau 7a. Liste des doctorants encadrés ou co-encadrés par la division MSRGI (2001-2004)

Nom	Sujet	Dir. thèse	Conseiller MSRGI	Collaboration	Date soutenance
Borel S.	Comportement des fondations mixtes	Magnan	Magnan		2001
Bultel F.	Comportement différé des terrains (tunnels)	Magnan	Leca	Scétauroute	2001
Droniuc N.	Calcul à la rupture par éléments finis	Magnan	Mestat		2001
Duca V.	Mesures des efforts appliqués par les sols	Magnan	Delattre	Solétanche-Bachy	2001
Vallé N.	Comportement mécanique d'un sol grossier	Levacher	Reiffsteck	Univ. Caen	2001
Moiriat D.	Stabilité des carrières souterraines	Bebien	Potherat		2001
Arbaoui A.	Mesure de la déformabilité des sols en place	Gourvès	Borel	CUST	2003
Kormi T.	Modélisation numérique du gonflement des sols	Magnan	Mestat		2003
Nguyen P. D.	Modélisation des soutènements d'excavation	Magnan	Bourgeois		2003
Nasreddine K.	Effets de la rotation des contraintes sur les sols	Magnan	Reiffsteck		2004
Maleki K.	Couplage endommagement- perméabilité	Pouya		LMSGC	2004
El Bied A.	Localisation des déformations dans les roches	Sulem	Durville	CERMES	2004
Ouffroukh H.	Microstructure et comportement des roches	Sulem	Durville	CERMES	2004
Chalhoub M.	Etude des milieux rocheux fracturés	Pouya		CGI	2005
Coquillay S.	Interactions sol-structures	Magnan	Bourgeois		2005
Marten S.	Instrumentation des soutènements	Magnan	Delattre /Borel	Solétanche-Bachy	2005
Frih N.	Interactions sol-structures	Frank	Bourgeois		2005
Ghozali L.	Fluage des sols fins	Magnan	Droniuc		2005
Lazar P.*	Mécanique des roches dans les failles	Sulem	Guedon	CERMES	2005
Priol G.	Comportement THM d'une craie pétrolifère	Sulem	Guedon	CERMES	2005
Bakkari A.	Sols non saturés	Magnan	Droniuc		2006
Bohi B.	Comportement des latérites	Mestat	Reiffsteck		2006
Said I.*	Modélisation des interfaces en géotechnique	Frank	Mestat	CERMES	2006
Bost M.	Modélisation de l'altération des roches	Pouya			2007
Nguyen Pham	Petites déformations non linéaires des sols	Magnan	Reiffsteck		2007

*Thèse financement Institut Navier

Tableau 7b. Liste des doctorants encadrés ou co-encadrés par P.-Y. Bard (LGIT, 2001-2004)

Nom	Sujet	Dir. thèse	Co-dir.	Collaboration	Date soutenance
Lussou Ph.	Mouvement sismique et effet de site	Bard	Cotton	IRSN	2001
Cornou C.	Traitement d'antenne et imagerie sismique	Bard	Dietrich	LGIT	2002
Beauval C.	Estimation probabiliste de l'aléa sismique	Bard	Scotti	IRSN	2003
Kham M.	Propagation dans les bassins sédimentaires	Bard	Semblat	LCPC/MN	2004
Sèbe O.	Déconvolution aveugle et sismologie	Bard	Guilbert	CEA	2004
Bonnefoy-Claudet C.	Composition du champ d'ondes du bruit de fond sismique : expérimentation et simulations	Bard	Cotton	LGIT	2004
Dunand F.	Bruit de fond sismique et diagnostic des structures	Bard		CIFRE Veritas	2005

A4 - Moyens techniques

La division MSRGI dispose des moyens suivants :

- un laboratoire de Mécanique des sols comprenant une presse triaxiale pour éprouvette cylindrique creuse, une presse biaxiale pour des essais en déformation plane, huit oedomètres, trois presses triaxiales avec mesures des petites déformations ;

- un laboratoire de Mécanique des roches disposant de quatre presses de mécanique des roches (10, 20, 50 et 100 t), d'une presse triaxiale haute pression commune avec le CERMES allant jusqu'à 60 MPa de confinement et d'une presse triaxiale haute pression permettant de monter jusqu'à 200 MPa de confinement. Cette dernière presse a été prêtée par le LIRIGM dans le cadre du GIS mis en place en 2003 entre le LCPC et le LIRIGM/Université Joseph Fourier) ;

- un atelier et du matériel pour la mesure *in situ* du comportement des fondations profondes (dont extensomètres amovibles, brevet LCPC), ancrages, etc. ;

- un atelier consacré aux appareils de reconnaissance in situ (créé en 2003). Il accueille l'appareil « triaxial in situ » et le pressiomètre autoforeur de nouvelle génération ;

- un laboratoire de Microscopie : microscope optique, microscope électronique à balayage, zétamètre (acquis en 2003) et microscope électronique à balayage de type environnemental (acquis en 2004).

Ces équipements ont été introduits dans le catalogue européen du projet TREE (site web), qui recense les grands équipements de recherche dans le domaine du génie civil et des transports.

Ces équipements sont parfois partagés avec d'autres unités. C'est le cas de l'atelier de Mécanique des roches et du microscope électronique, partagés avec la division des Bétons et Composites Cimentaires, la division Fonctionnement et Durabilité des Ouvrages d'Art et le service Physique et Chimie des Matériaux du LCPC.

Les doctorants et stagiaires ont à leur disposition deux salles informatiques dans lesquelles sont regroupés des stations de travail (essentiellement pour les calculs avec les logiciels CESAR-LCPC et UDEC) et des micro-ordinateurs en libre service (bureautique et activités scientifiques). Deux postes de PAO sont également en libre service (micro-ordinateur, scanner, imprimante couleur A3). La division utilise également les serveurs de calcul mis en place par le service Informatique du LCPC.

Les équipements des laboratoires de Mécanique des sols et de Mécanique des roches doivent être considérés comme complémentaires de ceux existant dans les autres Unités relevant du domaine géotechnique (CERMES, division RMS, ERA, LRPC). Il n'y a aucune redondance entre les matériels et leurs domaines d'emploi entre ces différentes unités.

La division MSRGI est fortement impliquée dans le développement du logiciel de calcul par éléments finis CESAR-LCPC, pour ce qui concerne les applications en géotechnique. Ce logiciel est considéré comme un « grand équipement », au sens où il s'agit d'un véritable outil de valorisation des connaissances et de validation des théories, avec une équipe qui lui est dédiée (section des Modèles numériques du LCPC) et une large diffusion qui lui assure une place à part dans le monde du génie civil. D'autres divisions du LCPC participent au développement de CESAR-LCPC, dans les domaines des Ouvrages d'art et des Chaussées.

A5 - Budget

Le tableau 8 présente les principaux éléments du budget de la division MSRGI pour les quatre années considérées, ainsi qu'une prévision pour 2005.

Tableau 8. Budgets de la division MSRGI pour la période 2001-2004

MONTANTS (en k€)	ANNÉE				
DÉPENSES	2001	2002	2003	2004	2005 (prévisionnel)
Personnel permanent	1 919	1 988	2 006	1 919	1 835
Équipements	120	250*	75,5	309**	116***
Fonctionnement (y compris missions en France et à l'étranger) :					
- Budget LCPC	109	108	95	85	82
- Retour financier sur les contrats	19	20	20	43	25
- Financement spécifique LGIT	-	-	-	15	15
Sous-traitance CETE	46	17	58	130	70
Autres sous-traitances	82	78	124	6	10
Personnel non permanent (doctorants, CDD)	450	588	420	273	384
Formation	15	16	17	16	15
TOTAL DES DÉPENSES	2 760	3 065	2 815,5	2 796	2 552
RECETTES					
Contrats de recherche	105	169	418	86	70
Subvention DRAST (MSRGI)	-	117	-	-	87
Subvention GIS-RAP (LGIT)	-	-	-	-	56
Subvention Région Ile de France (achat du MEB)	-	-	-	120	-
Expertises et prestations diverses (dont certification)	246	186	196	109	80
TOTAL DES RECETTES	351	472	614	315	293

* dont dépenses réalisées grâce à une subvention DRAST de 117 k€
** dont acquisition du MEB environnemental pour 300 k€.
*** dont acquisition d'une colonne résonnante pour 87 k€ sur subvention demandée à la DRAST.

La répartition des crédits entre les divers postes reste relativement stable d'une année sur l'autre. Sauf en 2004, où l'achat du Microscope électronique à balayage de type environnemental (300 000 euros) a augmenté considérablement la part des investissements. En revanche, les crédits de fonctionnement sont en baisse régulière, liée aux restrictions budgétaires imposées au LCPC.

La part du personnel permanent et non permanent dans le budget général est évidemment prépondérante dans les dépenses de recherche : elle atteint en moyenne 84 % des dépenses sur les quatre années (2001-2004). Les recettes provenant des études, expertises et autres contrats de

recherche, menés par la division MSRGI, correspondent en moyenne à 15,3 % des dépenses de la division sur la même période.

Au cours de la période 2001-2004, une part significative des crédits de fonctionnement de la division a été absorbée par le contrat de maintenance du MEB (ancienne génération), soit environ 15% du budget de fonctionnement (y compris retour financier), et par le fonctionnement des laboratoires de Mécanique des sols et de Mécanique des roches (environ 15% également). Depuis 2004, les chargés de mission risque sismique (LGIT) ont un budget à part pour leur fonctionnement et pour les dépenses liées à la gestion du Réseau Accélérométrique Permanent (15 k€ en 2004). Cette somme a été ajoutée au budget de l'année 2004. Il ne s'agit pas d'une augmentation des crédits, mais en fait d'un regroupement de divers crédits gérés auparavant par la Direction scientifique du LCPC et dorénavant directement transférés au LGIT.

La figure 4 illustre la répartition du temps passé par type d'activités menées par la division MSRGI depuis 1999. On peut noter une certaine stabilité de la part consacrée à la recherche-développement, autour de 60% du temps passé. La catégorie « divers » regroupe les temps passés en valorisation et management des activités (dont une très forte part administrative). Comme pour les autres unités techniques du LCPC, la part administrative a fortement augmenté depuis 2001, avec le passage sous ISO9001 et le transfert aux unités d'un certain nombre de tâches de gestion. La catégorie « ASTG »[3] concerne l'enseignement, la normalisation et l'animation du réseau technique du Ministère de l'Équipement (ERA, LRPC). La baisse de ce niveau d'activités s'explique par le départ de plusieurs ingénieurs et chercheurs, qui s'étaient beaucoup investis dans le domaine de la normalisation nationale, européenne et internationale. En revanche, les activités d'enseignement et de formation continue ont été maintenues à un haut niveau.

Les orientations de la division visent à maintenir une moyenne de 60% du temps consacré à la recherche et au développement. Le niveau des études et expertises (prestations facturées) risque de s'affaiblir avec le départ programmé d'experts confirmés (retraites). Il faudra un certain temps pour que les jeunes recrutés parviennent au niveau d'expertise atteint par les « aînés ». Néanmoins, l'objectif de la division est de maintenir, voire de relever le niveau actuel des contrats : un objectif de 15 % ne paraît pas déraisonnable. Cette augmentation pourrait être obtenue, soit sous la forme d'études et d'expertises, soit sous la forme de projets de recherche avec des entreprises ou en répondant à des appels d'offres de la Communauté Européenne.

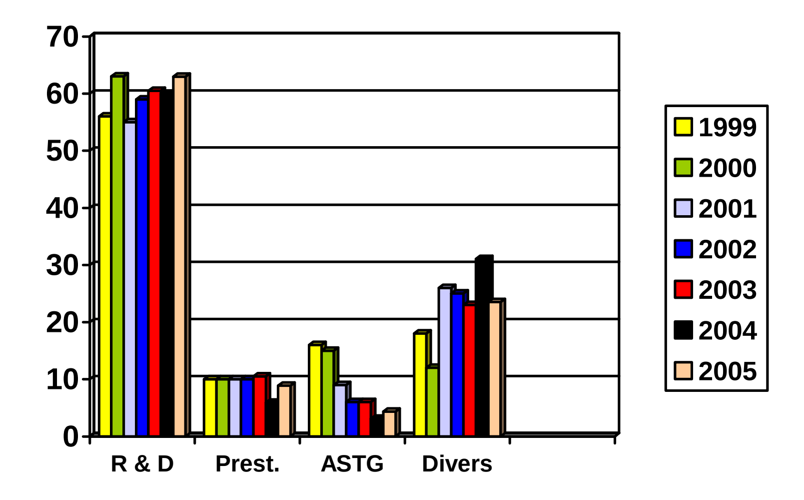


Figure 4. Répartition des activités de la division MSRGI (en % d'activités)

[3] Actions scientifiques et techniques générales.

B – Activités scientifiques et techniques

B1 – Bilan de la mise en œuvre des recommandations de la précédente évaluation 23

B2 – Positionnement et stratégie de la division MSRGI 29
1. Positionnement dans l'organisme (CETE, LCPC) et le ministère 29
2. Positionnement dans la communauté scientifique nationale ou internationale 31
3. Positionnement par rapport au secteur industriel 33

B3 – Analyse des produits et résultats scientifiques et techniques significatifs par domaines (y compris les travaux en cours)
35
1. Risques naturels 35
2. Comportement des matériaux naturels et artificiels 52
3. Ouvrages géotechniques complexes et géotechnique en milieu urbain 68

B4 – Collaborations et partenariats 84
1. Projets européens 84
2. Actions internationales 85
3. Actions nationales 87
4. Contrats 89
5. Participation aux Écoles doctorales 90

B5 – Priorités scientifiques pour les quatre années à venir 91
1. Risques naturels 91
2. Comportement des matériaux naturels et artificiels 94
3. Ouvrages géotechniques complexes et géotechnique en milieu urbain 97
4. Perfectionnement et validation de la modélisation numérique 97
5. Organisation de congrès internationaux 98

B1 – Bilan de la mise en œuvre des recommandations de la précédente évaluation

À la suite de l'évaluation de la division de Mécanique des Sols et des Roches et de Géologie de l'Ingénieur (MSRGI), le Conseil scientifique du LCPC a émis, lors de sa séance du 6 juin 2001, des recommandations en cinq points. Celles-ci sont rappelées en gras ci-dessous ; elles sont complétées par des commentaires sur leur application par la division MSRGI.

Recommandation 1.
« Des choix plus nets des activités de la division sont nécessaires, afin que celles-ci disposent de moyens suffisants et appropriés. Il convient d'une part de renforcer ce qui réussit particulièrement, par exemple l'activité sismique et, d'autre part, d'accorder un effort nouveau à des voies d'avenir ou détectées comme telles (thèmes environnementaux, notamment risques naturels, tunnels, ouvrages géotechniques urbains, sous-sols urbains). Le retrait de certaines activités doit être prévu et organisé de façon à ne pas perdre les acquis. »

Activité « sismique »
La recommandation de renforcer l'activité « Séismes » s'est traduite par le recrutement en 2001 d'un chargé de recherche (Ph. Gueguen), placé auprès de P.-Y. Bard au LGIT (Grenoble). Par ailleurs, au travers de l'opération « Risques sismiques », les relations ont été renforcées avec J.-F. Semblat (section des Modèles numériques) et l'ERA du LRPC de Nice (A.-M. Duval). En 2002, deux thèses ont été proposées : l'une au LCPC avec Jean-François Semblat et une autre dans l'ERA de Nice. Il est à signaler que la division MSRGI a demandé le recrutement en 2003 d'un ingénieur chargé d'étudier la conception des ouvrages en zone sismique : ce domaine d'activité n'est pas couvert par les personnels actuels au LCPC et correspond à un besoin réel pour la réglementation (française et européenne) et la validation des méthodes de calcul. Ce poste n'a pas été pourvu depuis 2003. C'est une orientation que la division souhaite développer pour les années 2005-2008, avec notamment la création demandée d'une nouvelle section chargée des problèmes de dynamique des sols et ouvrages en sites sismiques.

Activité « Risques naturels » (autres que sismique)
L'activité « Risques naturels », dédiée essentiellement aux mouvements de terrain, aux carrières souterraines abandonnées et aux chutes de blocs, a été confortée par le recrutement en 2002 de trois chercheurs : un directeur de recherche (A. Pouya), une chargée de recherche (C. Léonard) et un ingénieur TPE (E. Dimnet). Cela a permis de reconstituer une équipe après les départs de J.-L. Durville et de P. Pothérat. Cette équipe aura notamment en charge l'animation des recherches dans le domaine du risque rocheux (dont l'utilisation pour la recherche de la station d'essais de chutes de blocs) et des mouvements de terrain. Les relations avec le LRPC de Lyon, le CEMAGREF, le CNAM, l'INERIS, le BRGM et le LIRIGM ont été resserrées.

Activité « Géotechnique urbaine »
L'activité « Géotechnique urbaine », consacrée aux interactions entre ouvrages en construction et bâti existant, a été étoffée grâce au recrutement d'un chargé de recherche (N. Droniuc) et d'un ingénieur TPE (F. Rocher-Lacoste) en 2002. Le premier est plutôt concerné par le développement de modélisations numériques, et le second par la réalisation de mesures sur chantier et le développement de méthodes de calcul traditionnelles. Commencée en 2001, la thèse de S. Marten se situe également dans ce domaine d'activité (soutenance le 7 mars 2005). Afin de renforcer cette équipe et de développer des compétences dans le domaine de la gestion des risques en zone urbaine et de la gestion des données relatives au sous-sol urbain, le recrutement d'un ingénieur « Gestion géotechnique urbaine » a été demandé en 2003. Ce poste n'a pas été pourvu depuis cette date.

Activité « Géotechnique de l'environnement »
L'activité « Géotechnique de l'environnement » est restée faible, depuis le décès de P. Morin en 1999. Le travail de thèse de C. Jabbour n'a pas abouti compte tenu des circonstances. Néanmoins, des

compétences dans ce domaine existent au sein de la division MSRGI : identification minéralogique des matériaux recyclés et traités (MEB), étude de la perméabilité des sols argileux pour barrière anti-pollution, analyse des propriétés mécaniques de sols traités ou stabilisés. Des possibilités de collaborations nouvelles sont offertes dans le cadre de l'Institut Navier et du GIS LCPC-LIRIGM. Afin de renforcer cette composante de la division MSRGI et de renouveler des équipements en fin de vie, il a été demandé l'achat d'un MEB environnemental. Outre de meilleures performances, cet achat permettra d'élargir les recherches aux matériaux naturels (pollués ou non). Le recrutement d'un chargé de recherche (« Minéralogie des argiles ») a été demandé en 2003 pour renforcer l'équipe animée par S. Guédon-Dubied. Ces demandes ont pu être satisfaites en 2004 pour l'achat du MEB environnemental et en 2005 pour le recrutement d'un chargé de recherche en physico-chimie des sols appliquée aux risques naturels.

Activité «Tunnels »
L'activité « Tunnels » de la division MSRGI est essentiellement consacrée à la modélisation numérique, avec le développement du logiciel de calcul par éléments finis CESAR-LCPC (E. Bourgeois). Comme pour les ouvrages de soutènement, les expérimentations d'ouvrages souterrains sont réalisées en partenariat avec des entreprises et les LRPC. En particulier, il est prévu de développer les analyses concernant les tunnels en milieu rocheux avec le concours de l'ERA de Toulouse (thèse de F. Rojat). Par ailleurs, un poste de Technicien Supérieur « Calculs numériques » a été demandé en 2003 pour remplacer J.-P. Berthelon (parti en retraite), ce poste est essentiel pour redonner une taille critique à l'activité « tunnels ». Ce poste n'a pas été pourvu à cette date.

Activité « Mécanique des roches »
L'activité « Mécanique des roches » de la division MSRGI était concentrée autour des laboratoires de Mécanique des roches et de Microscopie : étude des propriétés et du comportement des roches naturelles et des pierres de construction, en liaison avec l'histoire géologique et l'analyse minéralogique et microstructurale. Recruté comme directeur de recherche « Risques naturels », A. Pouya possède également de solides compétences en Mécanique des roches. Il a donc été chargé d'animer les recherches en Mécanique des roches au sein du réseau des LPC. Cette réflexion a abouti en 2005 au lancement de l'opération « Risque rocheux » (qui associe les aspects Mécanique des roches et Risques naturels). Le CERMES, les ERA de Lyon et de Toulouse ont été étroitement associés à cette activité nouvelle. Des presses triaxiales à forts confinements ont été acquises en 2003 et 2004 pour poursuivre les essais menés en partenariat avec le CERMES et le LIRIGM.

Activités abandonnées par la division MSRGI
Pour ce qui concerne la recherche, les activités abandonnées par la division MSRGI sont les suivantes.

« Granulats ». La majeure partie de cette activité a été transférée à la division TGCE (Nantes). Il ne reste actuellement que deux sujets d'études et de recherche à la division MSRGI :

- interaction entre granulats et liant dans les composites cimentaires. La recherche sur l'alcali-réaction est aujourd'hui quasiment terminée ; il reste quelques contributions de la division MSRGI à des études en collaboration avec les Unités de béton ou de chaussées (analyse minéralogique des granulats, caractérisation des fines minérales ou argileuses). En revanche, une activité d'expertise importante reste liée à l'application du document « Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction » (1994), essentiellement à la demande de maîtres d'œuvre dans le cadre de chantiers à l'étranger ;
- granulats et environnement (économie de la ressource, nuisances). Cette activité sera abandonnée lors du départ en retraite d'A. Maldonado (2005) et transférée à la division TGCE.

« Fondations superficielles ». Les connaissances actuelles permettent de résoudre la grande majorité des problèmes classiques de fondations superficielles sur les sols saturés. L'activité de recherche sur les fondations superficielles a donc été abandonnée lors du départ en retraite de S. Amar en 2002. Une veille technologique est néanmoins prévue ; elle sera assurée par le LREP (Y. Canépa) et l'équipe

« Fondations spéciales » de la division MSRGI. Cette dernière est également en mesure de répondre à des demandes opérationnelles ponctuelles. Par ailleurs, il reste important de poursuivre les recherches dans le domaine des fondations superficielles construites sur des sols particuliers comme les sols gonflants, les sols effondrables ou les fondations soumises à des sollicitations sismiques. Ces recherches sont rattachées à deux des trois orientations générales de la division MSRGI : « Comportement des matériaux naturels ou artificiels » et « Risques naturels ».

« Renforcement des sols par Pneusol et Terre Armée ». Les recherches et études sur le Pneusol, les actions relatives à la Terre Armée et le Texsol ont été abandonnées lors du départ en retraite de Nguyen T. Long (2003).

« Remblais sur sols compressibles ». Cette activité historique de la division MSRGI est actuellement en sommeil, faute d'animateur (ingénieur ou chercheur). Le directeur technique J.-P. Magnan assure cette compétence essentielle en Mécanique des sols et est fréquemment sollicité pour des études et des expertises tant en France qu'à l'étranger. Les problèmes de remblai sont fréquemment la cause de l'arrêt des grands chantiers SNCF ou d'ouvrages d'art.

« Géotextiles ». Cette activité également ancienne est en veille faute d'animateur dans la division MSRGI. Une partie des recherches a été transférée à l'ERA de Rouen (E. Haza). Néanmoins, une veille technologique est toujours assurée par Ph. Reiffsteck, qui a fait sa thèse dans le domaine des géotextiles.

Recommandation 2.
« Les efforts récents pour un meilleur équilibre entre modélisation et expérimentation en faveur de cette dernière sont à poursuivre. »

Les recherches expérimentales ont fait l'objet d'efforts soutenus entre 2001 et 2004, tant dans les laboratoires de Mécanique des sols et de Mécanique des roches que dans le domaine des expérimentations in situ et du risque sismique.

Laboratoire de Mécanique des sols
Le renouvellement de la plupart des appareils d'essai classiques a été achevé en 2002. Ces matériels sont actuellement utilisés pour étudier divers types de sol, tout comme le nouvel appareil triaxial sur éprouvettes cylindriques creuses (thèse de K. Nasreddine, 2004). Par ailleurs, une nouvelle thèse a démarré en octobre 2002 ; elle concerne à la fois des aspects théoriques et expérimentaux sur le fluage des sols argileux (thèse de L. Ghozali). Deux autres thèses feront largement appel aux essais de laboratoire : thèse sur les petites déformations (thèse de Nguyen P.T., commencée en octobre 2004) et thèse sur la forme des lois d'écoulement pour les sols naturels (thèse qui débutera en octobre 2005).

Laboratoire de Mécanique des roches
Le partenariat avec le CERMES (J. Sulem) s'est traduit par de nombreuses expérimentations menées au cours des thèses de B. Ammiar (2003), de H. Ouffroukh (2004), de G. Priol (2005) et de P. Lazar (2006). De nouvelles coopérations sont envisagées dans le cadre de projets européens ou de contrats avec des entreprises (notamment du domaine pétrolier).

Laboratoire de Microscopie
Deux investissements importants ont permis d'acheter un zétamètre en 2003 et un microscope électronique à balayage de type environnemental en 2004. Ce dernier équipement a été acheté avec l'appui financier de la région Ile de France (qui a apporté 40% du financement total).

Expérimentations sur ouvrages réels
De nombreuses expérimentations ont été réalisées sur la période 2001-2004 à un rythme soutenu. L'équipe « Fondations spéciales » est intervenue sur de nombreux chantiers (dont les chantiers des

TGV belge et anglais). De nouvelles techniques de fondations ont pu être testées et viendront ainsi compléter la base de données de la division MSRGI, qui sert à justifier les règles de calcul des fondations profondes en France. Par ailleurs, une coopération a débuté avec la société Solétanche-Bachy et le port du Havre visant à l'instrumentation d'ouvrages géotechniques sur le site Port 2000. La thèse de S. Marten est associée à cette dernière action. Enfin, le recrutement en 2002 de F. Rocher-Lacoste (ITPE) et en 2003 de S. Mascles (TSE) a permis de renforcer l'équipe d'expérimentations in situ de la division MSRGI. Il est également prévu de recruter en 2005 un chargé de recherche dans le domaine de l'interaction sol-structure avec une forte composante expérimentale. Enfin, M. Bustamante a demandé à devenir directeur de recherche émérite, ce qui lui permettrait de rester encore quelque temps au LCPC (après son départ en retraite au 31 décembre 2004).

Risque sismique
Le Réseau Accélérométrique Permanent (RAP) en lui-même constitue un outil expérimental essentiel pour la calibration et l'amélioration des modèles d'estimation de l'aléa sismique. Les divers projets de recherche dans ce domaine (à tous les niveaux : régional, national et européen) combinent les deux approches expérimentation et modélisation, aussi bien pour ce qui concerne le mouvement du sol, que le mouvement des structures et les phénomènes d'interaction sol-structure.

D'une manière plus générale, la division MSRGI a toujours eu la volonté de conserver un équilibre et une complémentarité entre l'observation et la modélisation. Cette approche nous semble la seule raisonnable pour faire des progrès significatifs dans la compréhension du fonctionnement des ouvrages de géotechnique et la justification des méthodes de calcul. Cette orientation est parfois difficile à tenir à cause des mouvements de personnel. La très grande majorité des recherches menées actuellement dans la division MSRGI est conforme à cette volonté ; elles illustrent bien l'intérêt et même la nécessité de marier observation sur sites, expérimentation et modélisation.

Recommandation 3.
« Un effort supplémentaire pour mieux valoriser les travaux de recherche et les faire connaître en particulier au plan international est indispensable. »

La recommandation de mieux faire connaître les travaux de la division au plan international a été suivie : plusieurs articles en anglais ont été soumis à des revues internationales et le nombre de communications aux congrès a fortement augmenté. Le délai de publication dans les « grandes revues » étant de deux années en moyenne, il n'est pas encore possible de faire état d'une augmentation significative des articles. Néanmoins, on note une forte augmentation des communications et des articles sur les quatre dernières années si on les compare à la période précédente 1997-2001 (cf. partie C).

Cette augmentation s'explique en partie par la dynamique créée par l'initiative de la division MSRGI d'organiser plusieurs congrès internationaux, en partenariat avec Ponts Formation Edition et l'ENPC. Cela a démarré en 1998 avec l'opportunité d'organiser à Paris la cinquième conférence européenne NUMGE (2002), lorsque Ph. Mestat était président du Comité technique européen « Méthodes numériques » de la Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique (1994-2002). Depuis cette date, la division a initié et organisé les conférences internationales suivantes : PARAM (2002), FONDSUP (2003) et ASEP-GI (2004) Ces conférences sont autant d'occasions de présenter nos travaux à la communauté scientifique internationale et de rencontrer d'autres chercheurs et des partenaires industriels. Cinq volumes d'actes ont été publiés par les Presses de l'ENPC et le LCPC.

Ces quatre manifestations ont été des succès et nous souhaitons vivement continuer la collaboration avec l'équipe des colloques internationaux de Ponts Formation Edition (ENPC). D'ores et déjà, deux conférences internationales sont programmées pour 2005 : un symposium international à l'occasion

des 50 ans du pressiomètre ISP5-PRESSIO2005 (22-24 août 2005) et la seconde édition du symposium international PARAM 2005 (25-26 août 2005). D'autres projets sont envisagés.

Il convient enfin de signaler que quatre sites web ont été mis en service sur la période 2001-2004 et sont régulièrement maintenus :
- le site web du réseau européen TREE (responsable : A. Maldonado) ;
- le site web du Réseau Accélérométrique Permanent et de son serveur de données (http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr) (responsables LCPC/LGIT : Ph. Guéguen et P.Y. Bard) ;
- le site web du projet européen SESAME (http://SESAME-FP5.obs.ujf-grenoble.fr) (responsables LCPC/LGIT : P.-Y. Bard et Ph. Guéguen) ;
- le site de la division MSRGI en français et anglais sur le site du LCPC (http://www.lcpc.fr/fr/presentation/organigramme/div_msrgi) (E. Bourgeois, P. Simon).

Recommandation 4.
« Les partenariats, notamment internationaux, doivent être développés. La création et l'entretien de réseaux permanents dans les domaines d'action de la division doivent être recherchés activement ainsi que l'implication au plus haut niveau dans l'organisation de manifestations internationales. »

Le comité d'évaluation avait insisté sur le fait que les partenariats de la division MSRGI étaient en général éphémères, liés par exemple à un contrat européen, et qu'un effort devait être réalisé pour pérenniser les coopérations. Le constat est exact, mais il demeure que le travail en commun sur un projet de durée limitée constitue souvent l'amorce d'un partenariat à plus long terme. Ce partenariat peut alors conduire à d'autres projets européens et se traduire par une succession de projets. Les réponses aux appels d'offre et les montages de projets créent de facto des réseaux « virtuels » permanents, auxquels on a recours pour constituer les équipes de recherche pour un projet donné.

Sur la période 2001-2004, la division MSRGI/LGIT a participé ainsi à plusieurs projets européens :
- IMIRILAND (gestion des risques liés aux grands glissements alpins, 2001-2003) ;
- TREE (grands équipements pour la recherche en génie civil et dans le domaine des transports, 2002-2004) ;
- PARTNER (validation des essais sur granulats et sur formules de béton susceptibles d'évaluer la réactivité potentielle d'un béton, 2002-2005) ;
- SESAME (utilisation du bruit de fond pour évaluer les effets de site, 2001-2005) ;
- EURO-SEISRISK (étude du risque sismique, des effets de site et de l'interaction sol-structure dans un bassin instrumenté, 2002-2004).

Au niveau européen, un réseau de laboratoires de Mécanique des sols équipés d'un appareil triaxial pour éprouvettes cylindriques creuses est en cours de montage, à l'initiative notamment de Ph. Reiffsteck. La division MSRGI participe aussi au Laboratoire Lagrange (N. Droniuc, E. Dimnet). Il existe aussi, via le LGIT, des collaborations étroites avec l'IIEES de Téhéran sur les études d'aléa sismique en Iran, et notamment à Téhéran.

Au niveau international, la division MSRGI est fortement impliquée dans les Commissions techniques de la Société Internationale de Mécanique des sols et de Géotechnique (Ph. Mestat, S. Borel, Ph. Reiffsteck, M. Bustamante, P.-Y. Bard).

Au plan national, la division MSRGI a récemment réalisé des recherches en partenariat avec :
- l'Université de Lille (EUDIL) sur l'étude expérimentale et la modélisation des sols gonflants ;
- l'Université de Clermont-Ferrand (CUST), sur la détermination des propriétés de déformabilité des sols par essais en place ;
- le CEMAGREF (Grenoble), sur l'interaction entre un phénomène dynamique (avalanche, chute de bloc rocheux, lave torrentielle) et des obstacles (ouvrages de protection souples ou rigides, forêt) ;

- l'INPL (Nancy) et l'INERIS sur les problèmes de stabilité de versants et talus rocheux ;
- l'Ecole Centrale de Paris, le LGM (ENTPE), et le LMA (CNRS, Marseille) sur le problème de l'aléa sismique en milieu urbain (interaction site-ville) ;
- les autres organismes participant au GIS RAP (Réseau Accélérométrique Permanent) ;
- le GIS GEMAUN, Groupement d'Intérêt Scientifique « Géotechnique Environnementale et Maîtrise des Aléas Urbains et Naturels », qui réunit le LCPC et le LIRIGM, et bientôt l'équipe de la chaire de géotechnique du CNAM.

Par ailleurs, la division MSRGI pourra développer l'accueil de chercheurs étrangers pour des durées de quelques mois, dans le cadre de coopérations établies.

Enfin en ce qui concerne l'implication au plus haut niveau dans l'organisation de manifestations internationales, la division MSRGI s'est particulièrement distinguée en 2001 et 2004 par l'organisation directe de quatre conférences internationales et par la participation active aux comités scientifiques de huit conférences internationales et six conférences nationales. Comme on l'a déjà évoqué à la fin du point 3, nous souhaitons poursuivre ces actions internationales au rythme d'une manifestation annuelle d'importance, organisée en France avec Ponts Formation Edition.

L'Institut Navier constitue également un avantage pour le renforcement de l'image de la division MSRGI au niveau international.

Recommandation 5.
« Des habilitations à diriger des recherches doivent être préparées et soutenues rapidement ».

En 2004, la division MSRGI compte trois habilités à diriger des recherches : P.-Y. Bard, A. Pouya et Ph. Mestat (soutenance en octobre 2003). S. Guédon-Dubied soutiendra son mémoire d'HDR le 12 mai 2005.

B2 - Positionnement et stratégie de la division MSRGI

La division MSRGI réunit plusieurs métiers dans le domaine de la géotechnique (terme ici pris au sens large) qui correspondent à trois types d'approche :
- l'approche naturaliste (observation à différentes échelles, du nanomètre au kilomètre) ;
- l'approche expérimentale (essais et mesures, laboratoires et ouvrages in situ) ;
- l'approche théorique et numérique (rhéologie des matériaux, approche multiphasique, modélisation, CESAR-LCPC).

Leur mise en œuvre concomitante est nécessaire pour mener à bien les recherches de la division MSRGI et pour résoudre au mieux les problèmes géotechniques. La division MSRGI est ainsi l'une des rares unités de recherche à développer simultanément ces trois approches, dont la combinaison permet de valider des modèles théoriques, d'asseoir une méthodologie de détermination des valeurs des paramètres, de vérifier des méthodes de calcul, de justifier des méthodes numériques, et de diffuser des logiciels opérationnels (et utiles pour la profession).

1. Positionnement dans l'organisme et le ministère

La géotechnique au LCPC est répartie sur plusieurs unités :
- deux divisions : MSRGI (Mécanique des Sols et des Roches et Géologie de l'Ingénieur, à Paris, et LGIT/LCPC, à Grenoble) et RMS (Reconnaissance et Mécanique des Sols, à Nantes) ;
- une unité mixte LCPC/ENPC, le CERMES (Centre d'Enseignement et de Recherche en Mécanique des Sols) ;
- des parties de divisions ou de services, en particulier la section des Granulats à Nantes (division TGCE).

Les compétences, les équipements expérimentaux, l'expérience accumulée et la capacité d'animation de la division MSRGI lui permettent de jouer un rôle majeur dans le domaine de la géotechnique au sein du LCPC et du ministère :
- expertises d'ouvrages, notamment dans le domaine des fondations spéciales et analyse des retours d'expérience ;
- aide apportée à la définition de politiques publiques, notamment dans le domaine des risques naturels (guides techniques, « convention DPPR » : travaux de recherche menés pour la Direction de la Prévention des Risques naturels (DPPR) du ministère de l'Environnement) ;
- implication dans la normalisation française et européenne (zonage sismique de la France, eurocodes, normes d'essais, etc.) ;
- capacité à répondre aux préoccupations du Ministère de l'Equipement et aux besoins sociétaux (gestion des risques naturels, vulnérabilité des ouvrages et des sites, etc.) ;
- force de proposition d'opérations de recherche où sont associés différents acteurs de la géotechnique (LRPC, ERA, CECP, laboratoires universitaires, etc.) ;
- management de projets européens fédérateurs comme les projets SESAME et TREE, (animés et gérés par P.-Y. Bard et A. Maldonado respectivement) ;
- organisation de colloques nationaux et internationaux, qui sont autant d'occasion de mettre en valeur les acquis de la recherche française ;
- élaboration de documents méthodologiques ;
- participation à la formation des personnels du réseau technique de l'Équipement, et d'une manière plus générale à la formation dans les écoles d'ingénieur, les écoles doctorales et à la formation continue.

Le LCPC est dit « tête de réseau » pour les 17 Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées (LRPC), inclus eux-mêmes dans les CETE. La division MSRGI participe largement à l'animation de ce réseau technique. Les Laboratoires Régionaux effectuent des études opérationnelles, auxquelles le

LCPC est parfois associé (cas difficiles, nécessitant des investigations ou des modélisations particulières), et des recherches financées en grande partie par le LCPC.

La division MSRGI exerce une fonction d'animation importante dans le domaine géotechnique. On citera notamment pour les activités de recherche :

- animateur du Comité sectoriel Géotechnique : Ph. Mestat,
- animateurs de Comités de Programme : S. Borel (comité J, 2001-2003), P. Pothérat (comité E, 2001-2002), E. Bourgeois (comité F, depuis 2004), A. Pouya (comité E, depuis 2004) ;
- responsables d'opérations : P. Pothérat (→ 2002), S. Borel (→ 2003), E. Bourgeois, Ph. Reiffsteck, Ph. Mestat (→ 2004), A. Pouya ;
- animation du réseau d'auditeurs des LRPC dans le cadre de l'ATCG (Association Technique pour la Certification des Granulats) : A Maldonado.

La division MSRGI a participé activement aux Journées de Mécanique des sols des LPC, organisées à Nancy (juin 2001) et à Rouen (février 2004). La division MSRGI est le correspondant scientifique des ERA de Nice, Aix-en-Provence, Toulouse et Lyon.

Membre de l'Institut Navier, la division MSRGI a développé des activités communes importantes avec le CERMES et le LMSGC sur la période 2001-2004. Le projet scientifique de l'Institut est organisé en cinq axes transversaux :

- axe 1 : Mécanique multi-échelles des matériaux et des structures ;
- axe 2 : Milieux granulaires, milieux poreux et suspensions ;
- axe 3 : Dynamique et vibrations des systèmes mécaniques complexes ;
- axe 4 : Couplages thermo-hydro-chimico-mécaniques dans les géomatériaux ;
- axe 5 : Discontinuités en géomécanique.

La division est présente dans les axes 1 (projet CASTOR : modélisation numérique des ouvrages renforcés par inclusions linéaires), 2 (étude des sols hétérogènes ou grossiers), 4 (comportement des sols non saturés) et 5 (étude des interfaces, instrumentation in situ, recherches en mécanique des roches profondes). Toutes les recherches menées par la division MSRGI ne se retrouvent pas dans ce programme scientifique transversal, c'est notamment le cas de l'ensemble des travaux liés aux risques naturels. Deux thèses, financées par l'Institut Navier, sont actuellement menées en partenariat entre le CERMES et la division MSRGI : l'une sur la modélisation du comportement d'interfaces et l'autre sur la mécanique des failles (discontinuités profondes). Une autre thèse CERMES-MSRGI démarrera en octobre 2005, suite à un contrat entre la société TOTAL et l'Institut Navier.

Par ailleurs, la division entretient des collaborations avec des unités du LCPC dans des domaines en interaction avec la géotechnique, notamment :

- les divisions du domaine Ouvrages d'art (propriétés du béton en liaison avec les fines ou les granulats, pathologie des pierres dans les monuments anciens) ;
- la section des Modèles numériques (développement de CESAR-LCPC) ;
- le service Physico-chimie des matériaux (études de pathologies).

La division MSRGI a également des contacts réguliers avec les autres organismes du Ministère de l'Équipement qui interviennent dans le domaine géotechnique, mais ces coopérations restent d'ampleur limitée et souvent liées à l'étude d'un ouvrage particulier : SETRA[4], CETMEF[5], CETu[6], STBA[7]. Toutefois, ces organismes sont représentés au sein du Comité sectoriel Géotechnique du LCPC. Enfin, les DDE (Directions Départementales de l'Équipement), qui constituent l'implantation territoriale du Ministère de l'Équipement, font appel au LCPC pour des expertises et du conseil technique, directement ou le plus souvent par l'intermédiaire des LRPC.

[4] Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes.
[5] Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales.
[6] Centre d'Etudes Techniques des Tunnels.
[7] Service Technique des Bases Aériennes.

2. Positionnement dans la communauté scientifique nationale ou internationale

Rappelons que le LCPC est un organisme public de recherche scientifique à vocation technologique, placé sous la double tutelle des Ministères chargés de l'Équipement et de la Recherche. Ceci conduit le LCPC, et *ipso facto* la division MSRGI, à occuper une position centrale entre la recherche « académique » et les besoins « opérationnels ».

Communauté internationale

Depuis une quarantaine d'années, le secteur géotechnique du LCPC est largement reconnu au niveau international par la qualité de ses recherches et de ses expertises, les compétences de ses équipes, par son implication dans la vie des sociétés internationales de Mécanique des sols, de Mécanique des roches, de Géologie de l'ingénieur, de Génie parasismique, ou encore par son engagement dans les actions de normalisation. La division MSRGI participe largement à cette reconnaissance, grâce aux compétences de ses agents.

Plusieurs activités de la division MSRGI ont ainsi confirmé leur rôle international de premier plan. C'est notamment le cas des équipes suivantes :

- l'équipe « Instrumentation in situ » a acquis un statut d'équipe de référence au plan national et international pour les expérimentations in situ et les mesures à l'aide d'extensomètres amovibles, comme en témoignent les nombreux chantiers qui font appel à elle ;
- l'équipe « Risque sismique » du LCPC(MSRGI)/LGIT ;
- l'équipe « Rhéologie des sols fins naturels » (Laboratoire de Mécanique des sols et modélisation du comportement) ;
- l'équipe « Modélisation numérique » (logiciel CESAR-LCPC).

Cette position a été acquise grâce à un travail de longue haleine, à des recherches innovantes, à des équipements originaux, à une permanence des équipes et à un bon transfert des connaissances lors des recrutements. Les autres activités de la division paraissent moins connues, car elles sont plus récentes ou ont connu une certaine éclipse à cause de la difficulté, voire l'impossibilité, de remplacer les experts partis en retraite. Mais, par exemple, il ne fait pas de doute que l'équipe de Mécanique des Roches, récemment renouvelée, trouvera rapidement un statut international, grâce à ses compétences propres et à l'entrée en service de la Station d'essais de chute de blocs. Il en est de même pour l'équipe de Microscopie avec l'acquisition en 2004 d'un Microscope électronique à balayage de type environnemental.

Ces compétences font que les chercheurs de la division MSRGI sont souvent sollicités pour participer à des comités scientifiques de conférences internationales, pour intervenir dans des panels de spécialistes lors de congrès, pour présider des sessions de congrès ou des séances techniques, ou encore pour participer à des projets européens, etc. Sur la période 2001-2004, la division a très fortement augmenté son implication dans les comités scientifiques de congrès ou a pris l'initiative d'organiser des congrès internationaux, qui ont tous eu un large succès auprès des scientifiques et des industriels (sociétés de travaux, bureaux d'études, etc.) : NUMGE 2002, PARAM 2002, FONDSUP 2003, ASEP-GI 2004. La division a aussi organisé plusieurs concours de prévisions internationaux concernant le calcul d'ouvrages, qui furent autant d'occasions de faire des constats sur la pratique actuelle des calculs.

La division MSRGI est présente au sein de plusieurs associations savantes, réseaux de laboratoire et commissions de normalisation :

- groupes de travail de la Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique SIMSG (P.-Y. Bard, Ph. Mestat, Ph. Reiffsteck, S. Borel, M. Bustamante) ;
- membre du directoire de la Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique SIMSG (S. Amar jusqu'en 2002) ;

- Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur AIGI (P. Potherat, trésorier) ;
- réseau de laboratoires Lagrange ;
- réseau européen ELGIP (« European Large Geotechnical Institutes Platform », groupement européen des grands instituts de géotechnique) ;
- normalisation européenne (S. Amar jusqu'en 2002, Ph. Reiffsteck, P.-Y. Bard, S. Guédon-Dubied) ;
- normalisation internationale (S. Amar jusqu'en 2002, S. Guédon-Dubied).

Les projets européens sont aussi autant d'occasions de nouer des contacts et de développer des partenariats privilégiés. Sur la période 2001-2004, la division MSRGI a participé à sept projets européens (IMIRILAND, TREE, SESAME, Euroseisrisk, PARTNER, DGLAB-Corinth, SISMOVALP) et deux actions COST.

Par ailleurs, des coopérations bilatérales ont été poursuivies au cours de la période 2001-2004. La division entretient ainsi des relations avec :
- des organismes de recherche (EPFL, GeoDelft). Suite à des rencontres et des discussions menées en 2003 et 2004, des programmes de recherche sont en cours d'élaboration pour les années qui viennent ;
- des laboratoires et établissements publics étrangers (LPEE, Université de Séville) ;
- projet France-Iran sur l'aléa sismique à Téhéran (LGIT) ;
- etc. (voir partie B4).

Enfin, signalons que beaucoup de chercheurs de la division MSRGI sont régulièrement sollicités comme relecteurs par des revues internationales.

Communauté nationale

Bien évidemment, les compétences reconnues au niveau international le sont également au niveau national. La liste précédente peut être complétée par les éléments suivants :
- l'équipe « Risque sismique » du LCPC(MSRGI)/LGIT participe activement au déploiement et à la gestion du Réseau Accélérométrique Permanent, dont Ph. Guéguen est devenu le nouveau directeur en janvier 2005 ;
- la plupart des grands groupes de Génie Civil et des bureaux d'études français ont acquis le logiciel CESAR-LCPC et l'utilisent pour leurs projets. En particulier, le module de calcul MNCL (Mécanique en Comportement Non Linéaire), développé au sein de la division MSRGI, est le module le plus employé (représentant près de 75% des calculs réalisés) ;
- l'équipe de « Mécanique des roches » a conçu une opération de recherche importante qui fédère de nombreuses actions dans le domaine du risque rocheux (LRPC, ERA, INERIS, LIRIGM, CNAM).

La division MSRGI entretient des relations suivies, contacts réguliers ou véritables partenariats, avec la plupart des acteurs de la recherche en géotechnique :
- les universités : Lille, Grenoble, Nancy, Clermont-Ferrand, Bordeaux, Marne-la-Vallée ;
- les écoles d'ingénieurs : ENTPE-Lyon, ENPC-Marne-la-Vallée, Polytech'Lille (EUDIL), Clermont-Ferrand (CUST), École Polytechnique (LMS[8]), INSA de Lyon, Écoles des Mines (Paris, Nancy), Écoles Centrales (Lille, Lyon, Nantes, Paris), etc. ;
- les organismes publics de recherche : BRGM[9], CEMAGREF[10], INERIS[11], LRMH[12] ;

[8] Laboratoire de Mécanique des Solides
[9] Bureau de Recherches Géologiques et Minières.
[10] Centre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts.
[11] Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques majeurs.
[12] Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques

- les organismes techniques publics : CETE, CETu, SETRA, CETMEF, etc. ;
- les entreprises publiques : SNCF, RATP, EDF, etc. ;
- les entreprises privées via leur budget recherche : LERM (Laboratoire d'Étude et de Recherche sur les Matériaux), Solétanche-Bachy, TOTAL, etc.

La division MSRGI a participé à deux Projets Nationaux de recherche en génie civil (projet FOREVER consacré aux fondations par micropieux, projet Vibrofonçage sur la mise en place des pieux), et à l'élaboration du nouveau Projet National « Inclusions Rigides » (S. Borel).

Sur la période 2001-2004, la division MSRGI a accru ses partenariats en passant plusieurs conventions et en créant un GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique) :
- convention avec l'Ecole Centrale de Paris (Rhéologie des sols) ;
- convention LCPC – Solétanche-Bachy – Port du Havre (Expérimentations in situ) ;
- convention LCPC et CEMAGREF (Modélisation des chutes de blocs) ;
- convention LCPC – CUST (Essais en place) ;
- GIS GEMAUN, Groupement d'Intérêt Scientifique « Géotechnique Environnementale et Maîtrise des Aléas Urbains et Naturels » entre le LCPC et le LIRIGM, et bientôt l'équipe géotechnique du CNAM (projet scientifique concernant les risques rocheux et le comportement des matériaux naturels).

La division est également très active au sein des associations scientifiques françaises où sont représentés la plupart des organismes mentionnés ci-dessus :
- Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique (S. Amar : vice-président jusqu'en 2002 ; Ph. Mestat, président de la Commission Technique depuis 2004 ; membres de la Commission Technique : S. Borel (jusqu'en 2003), Ph. Reiffsteck ; membres : M. Bustamante, E. Bourgeois, N. Droniuc) ;
- Comité Français de la Géologie de l'Ingénieur (J.-L. Durville, président ; P. Potherat : membre du conseil ; membres : S. Guédon-Dubied, C. Léonard, F. Rocher-Lacoste ; D. de Meyer, secrétaire générale adjointe) ;
- Comité Français de Mécanique des Roches (A. Pouya, membre du conseil) ;
- Comité Français des Géotextiles (Ph. Reiffsteck, membre, groupe de travail) ;
- Association Française pour le Génie Civil (membre : S. Guedon-Dubied ; Ph. Mestat co-animateur d'un groupe de travail de 1994 à 2002) ;
- Association Française de Génie Parasismique (P.-Y. Bard, président du conseil scientifique ; membre : Ph. Gueguen) ;
- Association Française des Travaux En Souterrain (membre : E. Bourgeois) ;
- Société Française de Minéralogie et Cristallographie (membre : S. Guédon-Dubied) ;
- CEFRACOR (commission pierre-durabilité : S. Guédon-Dubied, secrétaire de la commission) ;
- SEMPA (Scanning Electron Microscope Philips Association ; S. Guédon-Dubied, membre du bureau).

Cette présence est importante pour faire connaître nos activités et nos productions en géotechnique.

3. Positionnement par rapport au secteur industriel

La division MSRGI mène des activités en relation avec le secteur industriel par ses recherches, ses expertises, ses productions (notamment sa capacité à élaborer des méthodes d'essais et de calcul, des méthodologies) et ses participations à la réglementation. La valorisation des productions auprès des entreprises contribue également au rayonnement de la division.

La division MSRGI est ainsi en relation constante avec le secteur industriel :
- les bureaux d'étude en génie civil, qui appuient les efforts de mise au point de méthodes et de méthodologies (Scetauroute, Simecsol, Solétanche-Bachy, etc.), par exemple sous la forme de thèses conjointes, ou de contrats de recherche passés avec le LCPC ;

- les entreprises de Bâtiment et de Travaux Publics, qui demandent des expertises aux spécialistes du LCPC, ou participent à des actions de recherche communes (par exemple : une entreprise met à disposition un chantier, investit dans l'instrumentation et une équipe de la division MSRGI réalise l'instrumentation selon une procédure fixée à l'avance) ;
- certains maîtres d'ouvrages publics ou parapublics (SNCF, RATP notamment) ;
- les associations, syndicats ou unions d'entreprises. Par exemple, l'Union Nationale des Producteurs de Granulats a été longtemps un partenaire privilégié de l'activité Granulats de la division, activité aujourd'hui transférée au LCPC-Nantes.

La partie C présente les nombreuses expertises menées sur la période 2001-2004, qui attestent des liens étroits avec le secteur industriel.

Pour ce qui concerne les activités de développement de matériels et de certains logiciels, la position de la division MSRGI est de les sous-traiter ou de les réaliser en partenariat, soit avec les ateliers de prototypes du Réseau Technique (exemple de l'appareil triaxial pour éprouvettes cylindriques creuses), soit avec des entreprises privées (exemple de la mise à niveau et de la diffusion des logiciels de calcul en géotechnique, hors CESAR-LCPC). Pour CESAR-LCPC, le LCPC a choisi de confier à la société Itech le soin de diffuser les différents modules de calcul, développés par les unités de recherche et dont la valorisation finale est réalisée en partenariat avec la section des Modèles numériques.

B3 – Résultats scientifiques et techniques significatifs par domaines

L'ensemble des recherches du LCPC est géré par dix comités de programme, chacun comportant un certain nombre d'opérations de recherche. De 2001 à 2004, la division MSRGI a participé à des recherches relevant de sept comités de programme et est intervenue dans vingt-deux opérations de recherche (tableau 3). La composition et les objectifs des opérations peuvent être consultés sur le site Internet du LCPC (http://www.lcpc.fr).

Les résultats scientifiques et techniques sont présentés selon les orientations à long terme de la division MSRGI (projet scientifique). Les opérations de recherche sont rattachées à ces orientations, en tout ou partie.

1. Risques naturels

La division MSRGI a organisé et mené d'importantes recherches au sein du RST sur le thème des risques naturels pendant la période 2001-2004. Ces recherches ont concerné les phénomènes tels que les séismes, les effondrements de cavités souterraines d'origine naturelle ou artificielle, les glissements de terrain et les chutes de blocs, etc. Les objectifs sont d'une part la connaissance de l'aléa (facteurs géologiques, cartographie, modélisation des phénomènes, prévision de l'occurrence, etc.) et, d'autre part, l'évaluation des techniques de prévention-protection, la vulnérabilité des structures et aménagements, la prévision des dommages dus aux mouvements de terrain, et la gestion du risque.

Ces recherches ont été structurées autour de cinq opérations de recherche et de plusieurs projets importants.

Opérations de recherche :
- « Fonctionnement dynamique et conception parasismique » (1998-2002) ;
- « Risque sismique » (2002-2005) ;
- « Carrières souterraines abandonnées » (1998-2002) ;
- « Mouvements de terrain » (2002-2004) ;
- « Risque rocheux » (2005-2008).

Projets de recherche :
- projet européen IMIRILAND (2001-2003), consacré aux risques liés aux grands mouvements de terrain dans les régions alpines, projet rassemblant l'Italie (pilote), l'Autriche, la Suisse et la France (LCPC et LRPC de Lyon) ;
- projet européen SESAME (2001-2004), sur l'utilisation du bruit de fond sismique pour évaluer les effets de site ;
- projet européen Euroseisrisk (2002-2004), consacré à des études expérimentales et numériques sur le site test de Volvi (Grèce) ;
- projet RESUM (Réseau Subsidence Urbaine et Minière ; 2001-2004), dans le cadre d'un Réseau technologique du MRT, ayant pour sujet l'évaluation de l'interférométrie radar comme outil de suivi des affaissements de terrain. Les principaux partenaires sont le BRGM (pilote), le CNES, les Charbonnages de France ;
- projet national de recherche CNRS sur l'interaction site-ville en risque sismique (ACI-CATNAT) ;
- développement du Réseau Accélérométrique Permanent qui apportera de nombreux enregistrements sismiques exploitables pour la recherche ;
- convention DPPR : convention pluri-annuelle liant le LCPC et le Ministère de l'Ecologie et du Développement durable pour financer des recherches à caractère méthodologique (Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques).

1.1. Risque sismique

Chercheurs : Pierre-Yves Bard (LCPC/LGIT), Philippe Guéguen (LCPC/LGIT)

Opération « Fonctionnement dynamique et conception parasismique » (1997-2002)
Opération « Risques sismiques » (2003-2005)

L'effectif permanent de la division MSRGI est réduit (2 chercheurs, 1 technicien à recruter), mais la structuration en opération de recherche à l'intérieur du réseau LPC et l'association avec le LGIT de Grenoble permettent de mobiliser de nombreux étudiants (thèses, DEA, stages d'ingénieur), ainsi que d'étroites collaborations avec d'autres chercheurs issus du CNRS, de l'Université et de l'IRD. Les travaux et résultats mentionnés sont donc essentiellement des résultats collectifs – où le LCPC a cependant, souvent, un rôle moteur. Ils ont mobilisé différentes unités du réseau LPC (Paris : MSRGI, DPR-MN, FDOA, LAMI ; Nantes : RMS ; LR Nice, Aix, Rouen, Clermont-Ferrand), et ont été menés avec la collaboration d'autres équipes françaises tant au sein du Ministère chargé de l'Equipement (SETRA, ENTPE notamment), que dans le monde académique (Université, CNRS, LGIT Grenoble). Ils ont aussi bénéficié d'échanges suivis aux niveaux européen (essentiellement pourtour méditerranéen) et mondial (Japon, USA, Mexique, Vénézuela, Iran). Ces collaborations n'auraient pas été possibles sans l'obtention de nombreux financements spécifiques hors LCPC (actions nationales et régionales, CNRS, contrats européens, coopération bilatérale via le MAE).

L'objectif principal est d'arriver à une meilleure définition et évaluation de l'action sismique imposée aux ouvrages, objectif qui peut se décliner dans différents cadres : réglementaire « risque normal », réglementaire « risque spécial », études locales, etc. Un autre objectif est venu se greffer récemment, après le recrutement de Ph. Guéguen en 2001, à savoir l'évaluation de la vulnérabilité de l'existant, problème incontournable pour les études de risque sismique.

Les travaux effectués peuvent être analysés suivant différentes grilles soit thématiques (aléa régional, local, interaction sol-structure, dynamique des structures), soit géographiques (objets d'études), soit méthodologiques (approches expérimentale, numérique, théorique, …). La présentation ci-dessous essaie de croiser ces différentes grilles, tout en suivant par souci de clarté une approche essentiellement thématique.

1.1.1 Aléa sismique

La problématique essentielle concerne l'évaluation *a priori* des actions sismiques, en supposant connues les caractéristiques des sources (localisation et magnitude). Il faut donc d'une part comprendre l'ensemble des phénomènes qui affectent les caractéristiques quantitatives des mouvements sismiques (émission à la source, propagation profonde, propagation superficielle) et, d'autre part, mettre au point des méthodes permettant de les estimer. Une telle estimation peut s'envisager avec différentes approches : purement empiriques, théoriques/numériques, expérimentales, et enfin forfaitaires pour la réglementation courante.

Ce domaine est extrêmement vaste et mobilise au niveau mondial de nombreux chercheurs et ingénieurs, et il serait présomptueux de vouloir proposer une méthode « miracle » répondant à toutes les situations. Au cours des dernières années, le LCPC a apporté sa contribution, en partenariat avec d'autres équipes françaises et étrangères, à quelques-unes des nombreuses questions encore en suspens, en essayant aussi, dans certains domaines (comme l'instrumentation), de rattraper un retard assez criant par rapport à d'autres pays qui ne sont pas forcément ni plus sismiques ni plus développés.

a) Réseau Accélérométrique Permanent (RAP)
Toutes les avancées marquantes en sismologie des mouvements forts sont venues d'observations instrumentales (Mexico 1985, Loma Prieta 1989, Northridge 1994 et Kobé 1995 pour les effets de source, etc.). Cependant, pendant longtemps, la France a été dépourvue de réseau d'observation

accélérométrique. Les efforts de persuasion, engagés au milieu des années 1980 par le LCPC, le BRGM et le LGIT, ont fini par porter leurs fruits :

- la structuration au travers d'un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) a été officialisée en 2000 ;
- 105 stations équipent maintenant le territoire national, dont 58 ont été installées sur la période 2001-2004 ;
- à côté de centres régionaux chargés de la gestion quotidienne de sous-réseaux régionaux, un site central est chargé de mutualiser l'ensemble des moyens nationaux, et de regrouper l'ensemble des données acquises ; il a été confié au LGIT/LCPC Grenoble, grâce au recrutement par le LCPC d'un chargé de recherche en 2001 (Ph. Guéguen).

Au cours de la période 2001-2004, le travail de fond de ce site central a été la constitution d'un système élaboré permettant l'archivage des données journalières dans une base de données de très grande qualité, interrogeable en direct par internet (Figure 5). Ce système intègre un contrôle et un suivi des réponses instrumentales et des modifications des systèmes d'acquisition, un suivi également des « métadonnées » propres à chaque événement sismique (localisation, magnitude, …), variables suivant l'institut et le temps, avec une consolidation annuelle.

Ce réseau a prouvé à la fois son efficacité et son utilité lors des principaux séismes ressentis en France au cours de cette période : Nice (M=4,7 le 25 février 2001) ; Pyrénées Rambervillers (M=5,4 le 22 février 2003) ; Roulans (M=5,4 en février 2004) ; Saintes-Guadeloupe (M=6,3, le 21 novembre 2004). Le taux de bon fonctionnement des stations dépasse 95%, et les informations quantitatives s'avèrent très précieuses non seulement sur le long terme pour l'amélioration de la réglementation, mais aussi sur le court terme pour la communication post-événement. Bien qu'on ne soit pas en mesure d'instaurer un système d'astreinte 24h/24, cet aspect incite cependant à coupler la base de données avec un SIG (système d'information géographique) pour une meilleure visualisation des résultats, mais aussi pour faciliter les croisements aléa / vunérabilité.

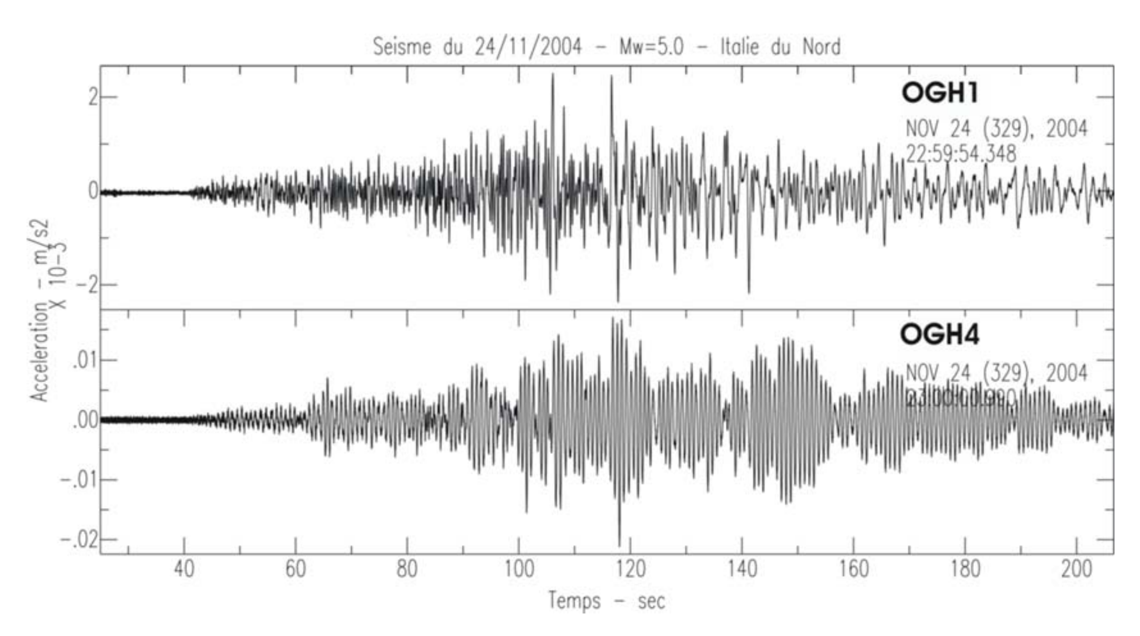


Figure 5. Accélérations enregistrées lors du séisme du 24 novembre 2004 (Ml=5,3) à la base (OGH1) et au sommet (OGH4) de l'hôtel de ville de Grenoble – Opération pilote du RAP.

L'étape suivante pour se situer au meilleur niveau international consiste à renseigner les conditions de site pour chaque station. Compte tenu des coûts mis en jeu avec les techniques traditionnelles, une action pilote a démarré en 2003/2004 pour mettre au point des méthodes de reconnaissance fiables, robustes et économiques, si possible. L'outil essentiel est l'analyse en antenne du bruit de fond

sismique, calibré au cours de cette phase pilote par comparaison avec d'autres méthodes « invasives » (SPT, CPT) sur un nombre restreint de sites. Ce travail se fait, sur des financements DRAST, en liaison étroite avec l'ERA de Nice, et avec l'aide d'une doctorante LCPC/ERA Nice (H. Cadet, 2004).

Un autre axe de développement, encore timide, mais qu'il serait souhaitable de renforcer à moyen terme, concerne l'instrumentation permanente de structures de génie civil. Elle a démarré à l'automne 2004 avec la finalisation de l'équipement de la mairie de Grenoble (6 capteurs à 3 composantes). Plusieurs enregistrements ont déjà été obtenus, dont celui du séisme de Sumatra.

Le LCPC/MSRGI/LGIT a ainsi affirmé sa compétence et son utilité dans le domaine de l'observation sismologique permanente. Ph. Guéguen a d'ailleurs été nommé Directeur du RAP en décembre 2004, en remplacement de D. Hatzfeld.

b) Aléa régional hors effets de site

À côté des activités « acquisition de données de base » liées au RAP, les travaux sur l'aléa régional (hors effets de site) ont essentiellement porté sur trois aspects :

- l'approche probabiliste, avec le suivi d'une part de l'étude probabiliste préalable pour un nouveau zonage sismique en France, et d'autre part de la thèse de C. Beauval (IRSN/UJF) sur l'analyse des incertitudes. La variabilité associée à différents choix habituellement non discutés a pu être quantifiée, pour différentes périodes de retour (de 500 à 10000 ans) : relation magnitude – intensité, troncature des lois d'atténuation, magnitude minimale pour prise en considération de l'aléa, magnitude maximale, donnant ainsi des pistes sur les axes prioritaires pour réduire ces incertitudes (estimation des magnitudes pour les événements historiques, lois d'atténuation empiriques, bornage physique des mouvements maximaux) ;
- la poursuite des tests sur l'utilisation des fonctions de Green empiriques pour la prévision des mouvements pour les futurs forts séismes. Différents tests ont été effectués sur les sites de Grenoble (projet SISMOVALP) et de Téhéran (thèse E. Haghshenas, projet INSU/ MAE / IIEES Téhéran) ;
- l'utilisation de techniques sophistiquées de traitement du signal (« déconvolution aveugle ») pour retrouver rapidement, à partir d'un seul enregistrement, des caractéristiques fines de la source sismique (thèse de O. Sèbe, UJF/CEA). Les potentialités de ces techniques, utilisant la « coda » du signal sismique et ses propriétés de champ quasi-aléatoire, ont été mises en évidence sur l'exemple malheureux de l'explosion du sous-marin Kursk le 12 août 2000, et offrent des perspectives prometteuses excitantes pour l'exploitation des données du RAP.

Par ailleurs, un temps significatif a été consacré à l'élaboration des propositions pour le nouveau zonage réglementaire de la France, dans le cadre d'un groupe de travail du GEPP : ces propositions ont été finalisées en juillet 2004, assorties de propositions pour les formes spectrales associées.

c) Aléa local, Effets de site

Les effets de site constituent le sujet majeur des recherches menées au LCPC en sismologie de l'ingénieur et tous les séismes récents ont confirmé l'intérêt de ces travaux. Au cours de la période 2001-2004, les travaux et résultats ont concerné les points suivants.

Le développement de nouvelles techniques d'analyse des données sismiques pour la caractérisation expérimentale des effets de site a été poursuivi. Les travaux ont essentiellement porté sur l'analyse de la ***phase*** des signaux sismiques. Trois applications majeures y sont associées :

- quantification des phénomènes de prolongation des mouvements associés aux effets de site bidimensionnels ou tridimensionnels (proposition de deux méthodes nouvelles : délai de groupe – Beauval et al., 2003; et sonogramme – Parolai et Bard, 2004) ;
- analyse de la composition du champ d'ondes sismiques (azimut, vitesses de propagation, type) par techniques de traitement d'antenne (thèse de C. Cornou). Bien que plus lourde, car impliquant l'enregistrement en réseau dense, cette analyse s'est révélée extrêmement instructive pour le cas de la cuvette grenobloise, où elle a permis de confirmer la prédominance des effets

tridimensionnels et l'importance des ondes de surface locales, qui véhiculent au moins 80% de l'énergie totale des signaux ;

- détermination des fonctions de transfert expérimentales dans le domaine temporel. Alors que les méthodes usuelles ne permettent de rendre compte que du module de l'amplification, l'utilisation des techniques de déconvolution aveugle sur la coda (cf. plus haut) offrent des pistes pour reconstruire une phase réaliste – phase minimale dans un premier temps -, ouvrant la voie aux réponses impulsionnelles propres à chaque site (thèse O. Sèbe).

La modélisation numérique n'est pas laissée de côté, même si elle est maintenant effectuée essentiellement au travers de collaborations externes (groupe de Bratislava : couplage effets de site tridimensionnels et sources dynamiques via des modélisations hybrides Différences Finies / Eléments finis, applications à Grenoble et à Volvi), ou internes au LGIT (utilisation des techniques d'éléments spectraux 3D, application à Grenoble). Cependant, devant les besoins causés par les énormes amplifications associées aux vallées alpines, on a été amené à adapter la méthode d'Aki-Larner (2D, SH) pour une prise en compte approchée des effets non-linéaires, en utilisant l'approche linéaire-équivalente. Les améliorations du logiciel ont été validées, et l'application à des vallées alpines typiques est en cours.

La faiblesse chronique des budgets alloués aux reconnaissances géotechniques, pourtant indispensables pour une bonne estimation des effets de site, jointe aux difficultés techniques auxquelles se heurtent les méthodes géophysiques et géotechniques classiques en milieu urbain (nuisances), a conduit depuis près de 15 ans à explorer les possibilités offertes par le « bruit de fond » sismique. Ce bruit de fond, filtré par les formations de surface, peut en effet permettre de remonter à faible coût à certaines de leurs caractéristiques dynamiques, grâce à des traitements appropriés, dont il convient de très bien contrôler les modes d'utilisation et d'interprétation. Le projet européen SESAME (*Site effects assessment using ambient excitations, 2001-2004,* http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr), avait pour objectif de mieux maîtriser ces techniques. Rassemblant plus de 80 chercheurs de 14 équipes de 8 pays différents, il a focalisé ses travaux sur deux techniques particulières, la méthode simple "H/V" (Figure 6) et une autre plus élaborée, utilisant des mesures en réseau ("antenne"), permettant d'inverser le profil de vitesse en profondeur. Au terme de très nombreux tests expérimentaux et simulations numériques, les fondements théoriques en sont maintenant mieux cernés. La technique en antenne, très prometteuse, mais encore très peu répandue en Europe, a donné lieu à des développements majeurs, tant logiciels que méthodologiques. Pour la technique H/V, un guide pratique de mesure et d'interprétation, accompagnant un logiciel multi-plateforme gratuit (appelé J-SESAME), est diffusé gratuitement via le site web. Il devrait contribuer à la standardisation de cette méthode pour une utilisation maîtrisée, qui pourrait alors s'envisager en routine dans la prochaine génération de règles parasismiques. Pour le LCPC/LGIT, ce projet a mobilisé un gros volume d'activités, sanctionné par de nombreuses communications, publications et délivrables. Les contributions propres du LGIT /LCPC ont concerné, outre le travail important de coordination, l'évaluation expérimentale empirique (partie du travail de thèse de E. Haghshenas), le logiciel H/V, son manuel d'utilisation, et la rédaction d'un guide méthodologique H/V, les travaux de modélisation numérique et les analyses sur la composition du champ d'ondes sismiques (thèse de S. Bonnefoy-Claudet). Malgré la fin officielle en 2004, les résultats acquis donneront certainement lieu à des travaux en 2005 (publications, analyses nouvelles des synthétiques et des données réelles).

Au cours de cette période, les principaux chantiers d'application ont été Grenoble (projets Pôle Grenoblois, SISMO-DT, SISMOVALP), Téhéran (collaborations LGIT / IIEES, financements MAE + INSU) et Volvi (projet Euroseisrisk). L'expertise ainsi développée, notamment sur le site de Grenoble, est une des raisons du choix de Grenoble pour l'organisation fin août 2006 du prochain symposium international sur les mouvements sismiques et les effets de la géologie de surface, les deux premières éditions ayant eu lieu au Japon.

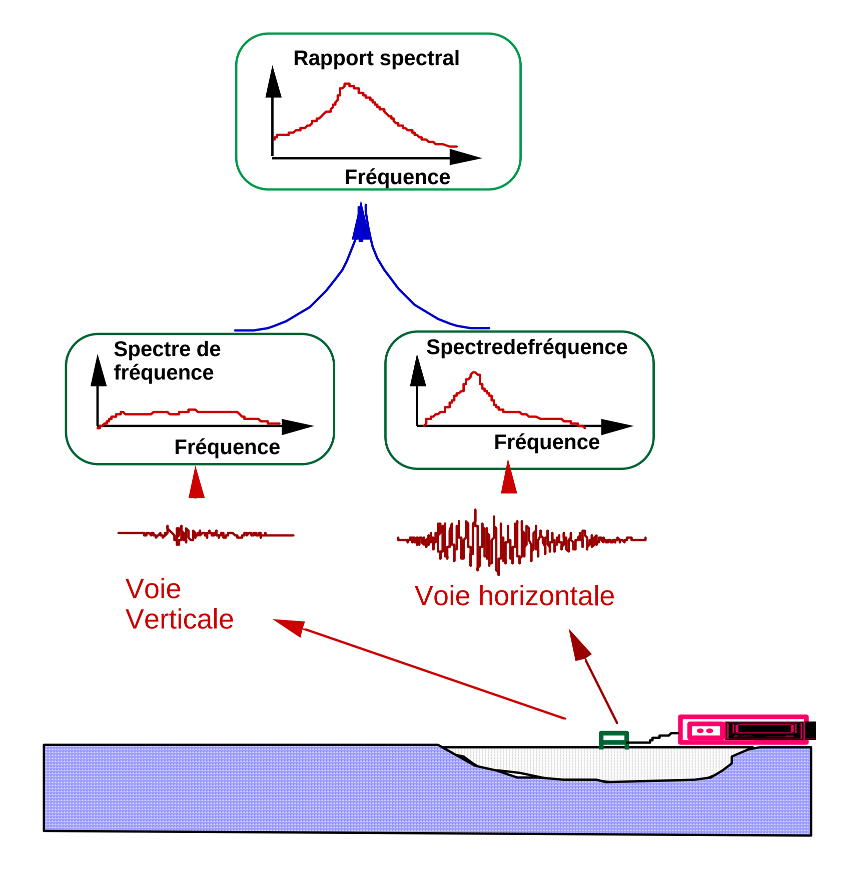


Figure 6. Principe de la méthode H/V

1.1.2 Vulnérabilité et risque sismiques

La mise en place d'une politique de prévention du risque sismique ne peut reposer sur la seule estimation de l'aléa ; il faut aussi estimer le risque, ce qui passe notamment par l'estimation de la vulnérabilité du parc immobilier. L'analyse de cette vulnérabilité peut se faire à différentes échelles : globale (ville, quartier, grand parc immobilier comme par exemple les lycées), ou individuelle (bâtiment par bâtiment). Ces deux échelles ont été abordées à l'occasion des travaux effectués au cours des quatre années écoulées, avec des demandes publiques (sur Nice - GEMGEP – et Grenoble – VULNERALP) et privées (VERITAS – thèse CIFRE).

a) Échelle globale : Vulnérabilité d'ensemble
Très peu d'organismes en France travaillent sur cette thématique (BRGM essentiellement), pour laquelle pourtant la demande publique est de plus en plus pressante pour permettre une programmation à long terme des travaux de renforcement, très coûteux. Pour le LCPC/LGIT, les besoins se sont exprimés directement lors des études liées au projet GEMGEP (scénario sismique sur la ville de Nice, dont le LGIT/LCPC a dû assurer le pilotage scientifique après le départ en retraite de JP Mèneroud), et celles sur l'agglomération grenobloise (projets SISMOVALP, VULNERALP, SISMO-DT), consécutives au souci généré par la mise en évidence d'énormes effets de site.

Aucune méthodologie consensuelle n'étant actée en France, les réflexions ont été structurées au sein d'un groupe de travail de l'AFPS auquel Ph. Guéguen a fortement contribué. Les conclusions en sont consignées dans un document en cours d'examen par le Comité Scientifique et Technique de l'AFPS, qui fait le point sur les connaissances et les méthodes actuellement disponibles, le retour d'expérience acquis dans les différents pays sismiques européens, et propose des fiches d'analyse adaptées au contexte français mais calibrées sur l'expérience italienne, à différents niveaux de précision, compatibles les uns avec les autres.

Les travaux de ce groupe ont directement servi aux études en cours sur Nice et Grenoble, pour les bâtiments à risque normal de classe B, C et D. Les aspects abordés ont concerné les méthodes d'inventaire du bâti existant et de ses caractéristiques techniques pertinentes (enquêtes courrier, internet, apports de l'imagerie satellite, aérienne et video par caméra embarquée sur véhicule), calcul d'un indice de vulnérabilité et de son niveau d'incertitude, lien quantitatif avec la vulnérabilité (dommages / intensité, courbes de capacité), mise en œuvre sous SIG.

b) Échelle du bâtiment : Dynamique des structures
À l'échelle d'un bâtiment individuel, les limites de l'approche par calcul pour des bâtiments existants – notamment en l'absence de plans détaillés, ou pour des constructions anciennes – ont conduit à s'intéresser à l'utilisation des enregistrements de vibrations ambiantes en structure comme moyen simple et rapide d'auscultation dynamique en aide au diagnostic de vulnérabilité. Cette approche a suscité de fortes controverses de la part de certains Bureaux d'études, mais elle a suffisamment intéressé le bureau Veritas pour assurer le co-financement d'une thèse Cifre (F. Dunand, 2001-2004). D'une façon plus générale, l'objectif est aussi de transférer dans le domaine de la construction, très axé sur les calculs avec des logiciels pas toujours maîtrisés, le savoir-faire sismologique d'apprentissage par l'instrumentation.

Les principaux résultats de cette thèse sont les suivants :
- ces mesures donnent des indications robustes sur les caractéristiques (fréquence, amortissement) et la cinématique (déformées modales) des principaux modes. En particulier, une étude comparative spécifique, effectuée pour une douzaine de bâtiments californiens et ayant subi de forts séismes, montre que les fréquences sous bruit de fond ne diffèrent pas de plus de 40% des fréquences sous forts séismes. Ce résultat est capital pour l'utilisation pratique de telles mesures de vibrations ambiantes ;
- simultanément, ces mesures permettent aussi de détecter des modifications de structure, soit par renforcement, soit par dégradation consécutive à un fort séisme (exemples notamment de plusieurs cités à Boumerdès, où la décroissance des fréquences propres est clairement corrélée au niveau d'endommagement). On peut dès lors envisager un suivi très économique de l'état de santé structurale d'un bâtiment, par la mesure régulière de ses fréquences propres sous vibrations ambiantes, de même qu'une quantification de l'efficacité de procédures de renforcement ;
- ces mesures ont aussi mis en évidence l'importance des phénomènes d'interaction sol-structure, mais aussi la méconnaissance profonde des mécanismes d'amortissement, qui peut amener à certains biais dans le dimensionnement parasismique tel qu'il est fait à l'heure actuelle.

1.1.3 Interaction site-ville

Un autre volet important des recherches a concerné l'analyse des modifications du champ d'ondes sismiques en milieu urbain par l'interaction multiple avec le bâti de surface, un domaine intermédiaire entre l'aléa local (effets de site), et la dynamique des structures. Ces travaux, initiés au cours du quadriennal précédent (thèse de Ph. Guéguen), se sont poursuivis dans un cadre plus large (projet de recherche ACI-CATNAT), en collaboration avec différentes équipes françaises (ECP, ENTPE, LMA, LCPC Paris et Nantes). Les objectifs étaient doubles : d'une part, analyser les effets de l'interaction multiple (les premiers modèles prenaient en compte uniquement l'interaction simple) et, d'autre part, trouver des moyens de mise en évidence expérimentale.

Le premier objectif a été parfaitement atteint à l'aide de simulations numériques 2D et 3D, et d'expériences en centrifugeuse : tous ces modèles s'accordent pour montrer sans aucune ambigüité que, lorsque les fréquences propres du sol et des immeubles coïncident, les immeubles « dialoguent » via le sol, par le biais des ondes réémises au niveau des fondations par les vibrations de l'immeuble, et piégées dans les couches de surface. L'interaction est même tellement forte que les modèles en interaction simple ne sont plus valables dans des villes à densité moyenne. Les effets globaux de cette interaction sont alors, en moyenne, plutôt bénéfiques : réduction des mouvements au sol et en tête

d'immeuble. Cependant, cela introduit aussi une variabilité supplémentaire dans les mouvements tant des immeubles que du sol, qui pourrait expliquer les observations fréquentes de dommages très variables et à distribution géographique apparemment aléatoire, à sous-sol et qualité de construction identiques (thèse de M. Kham).

Le second objectif s'avère beaucoup plus délicat. Diverses pistes ont été explorées. Deux semblent plus prometteuses quoi qu'encore à approfondir :
- d’une part, celle de la « longueur de corrélation » plus faible dans les milieux densément urbanisés SAUF au voisinage de la fréquence de résonance commune sol / immeuble ;
- d’autre part, celle liée au phénomène de localisation dans les milieux fortement diffractants où le champ d'ondes acquiert rapidement les propriétés de champ diffus. Des travaux de simulation sont en cours pour explorer cette dernière option.

Quoi qu'il en soit, ces résultats nous ont convaincus du bien-fondé de cette voie de recherche, souvent jugée plutôt farfelue au départ. Les conséquences sont tellement opposées à la raison commune et à la pratique courante. L'aléa sismique pourrait ainsi être modifié par l'homme, ce qui peut avoir des conséquences intéressantes (urbanisme parasismique) ou très désagréables (procès aux propriétaires des immeubles voisins). Il faut donc absolument poursuivre et travailler notamment sur la mise en évidence expérimentale, qui passe par de l'instrumentation dense et des protocoles expérimentaux et de traitement originaux et innovants.

1.2. Risques liés aux affaissements de terrains

Chercheurs : Pierre Potherat (→2002), Christelle Léonard (2002→), Pietro Alfonsi, Jean-Louis Durville (→2002), Ahmad Pouya (2002→)

Opération « Carrières souterraines abandonnées » (1998-2002)
Opération « Mouvements de terrains » (2002-2004)

Le problème de la sécurité des personnes et des biens à l'aplomb d'anciennes exploitations souterraines de matériaux est une des préoccupations majeures des pouvoirs publics au regard des accidents qui surviennent régulièrement. L'étude des risques liés à ces mouvements de terrains a représenté une part importante de l'activité « Risques naturels » de la division MSRGI pendant la période 2001-2004. Les recherches ont porté sur l'application de techniques de détection (photo-interprétation, radiométrie infrarouge, interférométrie radar), sur les méthodes de calcul et sur la modélisation numérique.

1.2.1. Cavités souterraines abandonnées

Pendant la période (2001-2004), les recherches ont porté sur l'application de techniques de reconnaissances des cavités par photo-interprétation et sur le diagnostic de la stabilité des carrières. L'opération de recherche « Carrières souterraines abandonnées » a associé une dizaine de Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées, les Inspections des Carrières de Paris et Versailles, les Services des Carrières de Gironde, de la ville de Laon, le syndicat Cavités d'Indre et Loire, l'INERIS, Scétauroute et le Ministère de l'Environnement. Les objectifs visaient à développer les connaissances en matière d'évaluation des risques liés aux carrières souterraines et à améliorer la gestion des zones sous-cavées par la proposition de recommandations en matière de localisation des vides, de diagnostic de stabilité et de moyens de prévention des désordres effectifs et potentiels (P. Potherat).

La division MSRGI a participé aux recherches suivantes :
- méthodologie de localisation des vides cachés, sur de grandes superficies, fondée sur l'utilisation de la télédétection par radiométrie dans le domaine de l'infrarouge thermique. Cette approche a été testée pour la détection de puits de marnières (exploitations de craie en Normandie) actuellement comblés et invisibles sur le terrain (P. Pothérat, C. Léonard, LRPC de Rouen) ;
- mise au point de méthodes de diagnostic qualitatif de stabilité d'une carrière souterraine, fondées sur une typologie des désordres, de l'environnement géologique, du matériau exploité, de la profondeur et de la géométrie des vides (P. Potherat, thèse de D. Moiriat) ;
- diagnostic quantitatif de stabilité par le biais de modélisations diverses : méthodes de dimensionnement simplifié, calculs par éléments finis ou éléments distincts ; diverses modélisations ont analysé les conditions de stabilité d'un toit stratifié et les ruptures par effondrement généralisé (ensemble de la zone exploitée) (J.L Durville, P. Alfonsi, Ph. Mestat).

L'activité « Carrières souterraines » de la division MSRGI a été complétée par la réalisation d'expertises et d'études de stabilité dans des carrières de gypse, de craie et d'ardoises. Enfin, en collaboration avec l'INERIS, un guide technique sur l'évaluation et la cartographie de l'aléa dû aux cavités souterraines a été publié (2002). Un guide méthodologique sur les techniques de localisation des cavités et sur le diagnostic de stabilité (aspects qualitatif et quantitatif) est en cours de finalisation. Une journée organisée conjointement par le LCPC et l'INERIS est prévue le 11 mai 2005 pour présenter l'ensemble des résultats de ces recherches.

1.2.2. Localisation des marnières par radiométrie infrarouge thermique

La division MSRGI, en collaboration avec le LNE et les LRPC de Rouen et de Lyon, a étudié la mise en œuvre de la radiométrie infrarouge thermique pour localiser les puits de marnières, en Normandie. Cette technique renseigne sur les écarts de températures apparentes à la surface du sol, donc sur les propriétés thermiques des sols examinés (nature, état hydrique, porosité, etc.). Le principe consiste à rechercher sur l'image infrarouge, en périodes de températures extrêmes, des anomalies thermiques liées au transfert de chaleur de la marnière (toujours à une température constante de 14-15°C) vers la surface ou simplement des anomalies thermiques directement liées à la nature du matériau de comblement.

Un premier test (comportant un vol en hiver et un vol en été) a été réalisé sur une superficie de 10 km^2, où les puits, visibles ou non, sont répertoriés sur les plans cadastraux. Cette première étape a permis de définir les conditions optimales de vol (hauteur, heure, saison…). Durant la période 2001-2004, une seconde campagne a été réalisée en aveugle (vols en hiver et en été) sur une zone de 100 km^2, l'objectif étant de valider la faisabilité de cette méthode et de proposer une méthodologie de détection indirecte des marnières par radiométrie infrarouge. Le traitement des données a permis de repérer environ un millier d'anomalies pour l'ensemble de la zone, ce qui conduit à retrouver le chiffre déduit des études du LRPC de Rouen, à savoir 10 marnières au km^2 (Figures 7 et 8). Le LRPC de Rouen a été chargé de confirmer les résultats de la méthode en réalisant des décapages à la pelle sur le terrain au niveau d'anomalies repérées pendant le traitement, susceptibles de représenter des puits de marnière (une quinzaine d'anomalies ont été sélectionnées). Les images infrarouge étant fortement déformées, leur redressement a été effectué au LCPC afin de faciliter le positionnement des anomalies sur le terrain, en superposant les images infrarouges à un plan cadastral au 1/5000ème (C. Léonard) (Figure 9). Parmi les quinze anomalies auscultées, cinq ont correspondu à des puits de marnières (Figure 10).

L'exploitation et la validation des résultats ont été poursuivies en 2004 permettant de tirer des conclusions et de fournir des recommandations pour l'utilisation de la méthode. Celle-ci semble assez prometteuse, mais reste fortement dépendante des conditions d'enregistrement et de l'état de la surface survolée. La collaboration avec le LNE devrait aussi se poursuivre afin de tester leur nouveau système de navigation/positionnement qui permet d'accroître l'exactitude sur le géoréférencement des données.

1.2.3. Suivi des affaissements miniers par interférométrie radar – projet RESUM

La division MSRGI a participé au projet RESUM (RTT, RGCU) sur l'interférométrie radar appliquée aux déformations de la surface du sol : affaissements miniers, tassements dus aux ouvrages souterrains peu profonds (P. Pothérat, C. Léonard). Le projet RESUM visait au développement d'activités innovantes sur la subsidence par le biais de l'interférométrie différentielle. Le projet RESUM a été clos en janvier 2004 par une session de restitution des travaux des différents partenaires du projet (BRGM, Charbonnage de France, CNES, ECP, GDF, IGN, Kinoa, LCPC, Magnitude, ministère de la recherche et de la technologie, TRE).

En suivant une formation continue (imagerie radar et interférométrie de la société GDTA) et en collaborant avec l'Université de Marne-la-Vallée et le BRGM, C. Léonard a acquis les compétences nécessaires en traitement interférométrique. La division MSRGI a ainsi pu participer au montage d'une cellule interférométrique au LRPC de Nancy. Des interférogrammes sur des zones sensibles sous-minées (ville de Rimognes en Lorraine) ont été réalisés. Toutefois, on n'a pas observé d'affaissements significatifs. La méthode n'a pas une résolution suffisante pour observer les mouvements très localisés.

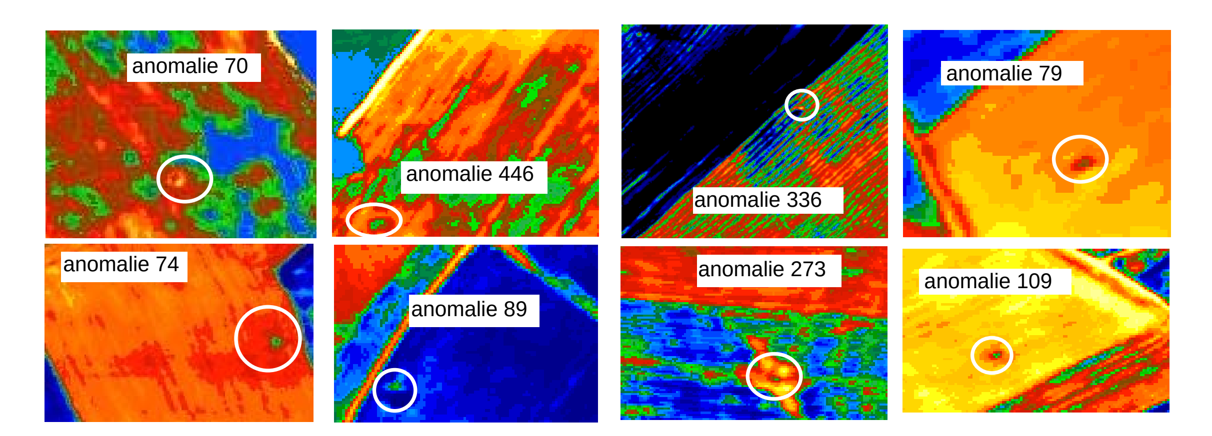


Figure 7. Exemples d'anomalies obtenues sur la campagne d'été 2000. Les anomalies thermiques sont liées soit au transfert de chaleur de la marnière (toujours à une température constante de 14-15 C) vers la surface soit simplement des anomalies thermiques directement liées à la nature du matériau de comblement. Suivant la hauteur de remblai constituant le bouchon fermant le puit, on observe sur l'image infrarouge, sur les vols d'été, en fin de journée soit une anomalie chaude (de couleur rouge ou jaune) issue du remblai plus poreux (anomalies 70, 336), soit une anomalie circulaire froide (de couleur verte, ou bleu) provenant du transfert du puits vers la surface dans l'auréole chaude constituée par le remblai (anomalies 446, 79, 74, 89, 273 et 109).

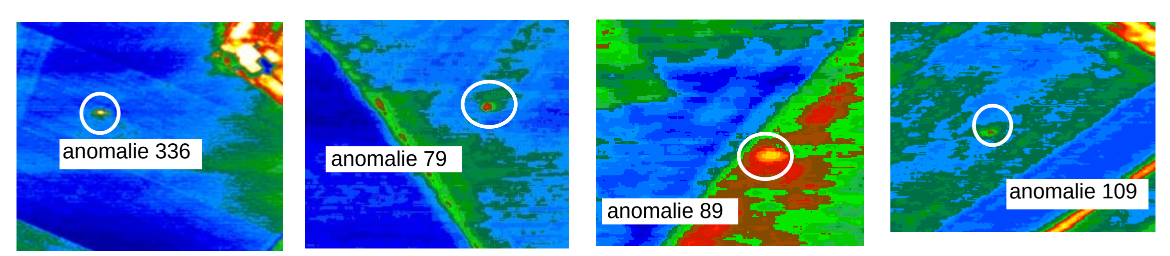


Figure 8. Exemples d'anomalies obtenues sur la campagne d'été 2001, en fin de nuit. Les anomalies thermiques liées au transfert du puits vers la surface apparaissent chaudes en hiver alors qu'elles étaient froides en été (la marnière est toujours à une température constante de 14-15 C) : anomalies 79, 89 et 109. Par contre, celles liées au remblai poreux continuent à apparaître chaudes en hiver (anomalie 336).

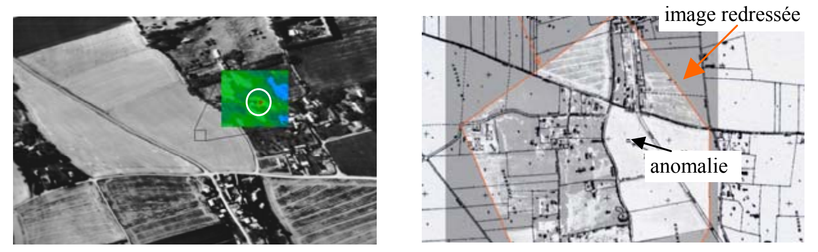


Figure 9. a) image infrarouge thermique obtenue. Un zoom sur l'anomalie, présenté en couleur, permet de repérer la cible (tache rouge) correspondant au puits recherché, retrouvé lors du décapage. b) image infrarouge présentée en a) redressée et superposée au plan cadastral



Figure 10. Exemple de puits de marnières révélés lors de la campagne de décapage à la pelle. Sur l'anomalie 446, à 0,7 m de profondeur, la pelle a rencontré un très grand nombre de sacs contenant des déchets ménagers laissant envisager la présence d'un effondrement lié à une marnière. Sur l'anomalie 336, apparaissent des éléments de remplissage du puits d'une marnière sur une zone de 1,5 m à 2 m de diamètre (présence d'une souche d'arbre probablement là pour bloquer l'entrée du puits). Sur l'anomalie 70, à 1 m de profondeur, des morceaux de verre, de bois et de plastique ont été découverts par la pelle, dans une zone circulaire de 1,8 m à 2 m de diamètre, sur plus de 3 m de profondeur. Compte tenu du diamètre de la zone concernée, il devrait s'agir d'un puits de marnière.

Les recherches menées ont néanmoins montré que l'interférométrie radar permettait, dans plusieurs situations, d'obtenir un rendu cartographique clair de mouvements de sols, et ce avec une précision suffisante pour le génie civil. L'utilisation de cette technique est envisagée pour caractériser et mieux comprendre les mécanismes de mouvement des massifs rocheux. Pour cela, des logiciels complémentaires ont été achetés en 2003 pour répondre à ces besoins en matière de télédétection (chaîne de traitement interférométrique DIAPASON de Altamira Information, logiciels de traitement d'images satellitaires ENVI et IDL de Research Systems). Ces recherches seront menées en 2005 dans le cadre de l'opération « Risque rocheux ».

1.2.4. Interaction entre affaissements de terrain et ouvrages de surface

La thèse de Sophie Coquillay, débutée en octobre 2001, a été consacrée à la modélisation numérique par éléments finis de l'influence des déformations des sols sur les structures. Après une étude bibliographique, il est rapidement apparu qu'il était nécessaire d'introduire dans CESAR-LCPC de nouveaux modèles de comportement, de manière à mieux reproduire les déformations sur l'ensemble de la gamme des sollicitations subies par les sols au voisinage des ouvrages et à plus grande distance. On a dans un premier temps corrigé la programmation d'un modèle permettant de prendre en compte des modules et des caractéristiques de résistance variables avec la profondeur, avant d'implanter un modèle élastique parfaitement plastique à élasticité non linéaire : il s'agit du modèle proposé par Fahey et Carter pour les sables en 1993.

Les premiers tests de validation du modèle de Fahey et Carter ont donné de bons résultats pour la modélisation de fondations superficielles expérimentales instrumentées par le LCPC dans les années 1980. Les résultats ont été moins concluants pour la modélisation d'une fouille expérimentale réalisée en 1993 à Hochstetten. Néanmoins, les modèles proposés devraient améliorer sensiblement la fiabilité des estimations des déplacements induits par une excavation souterraine (en particulier les tassements de surface). D'autre part, la thèse, qui devrait être soutenue en 2005, constitue une première étape pour élargir la palette de modèles de comportement mis à la disposition des utilisateurs du logiciel CESAR-LCPC (E. Bourgeois, cf. §3.3).

1.3. Risques liés aux glissements de terrains et à l'instabilité des massifs rocheux

Chercheurs : Christelle Léonard (2002→), Pietro Alfonsi, Ahmad Pouya (2002→), Eric Dimnet (2002→), Pierre Potherat (→2002), Jean-Louis Durville (→2002)

Opération « Mouvements de terrains » (2002-2004)
Opération « Risque rocheux » (2005-2008)

Comme pour les risques précédents, la sécurité des personnes et des biens à proximité de versants instables est aussi une préoccupation majeure des pouvoirs publics. L'étude des risques liés aux instabilités des pentes et des versants rocheux a représenté la troisième part importante de l'activité « Risques naturels » de la division MSRGI pendant la période 2001-2004. Les recherches ont porté sur l'application de techniques géophysiques, sur la trajectographie, sur les méthodes de calcul et sur la modélisation numérique.

Il est à noter qu'une partie de l'année 2003 et l'année 2004 ont été consacrées à des recherches préliminaires au lancement de l'opération « Risque rocheux », pilotée par A. Pouya, qui regroupe de nombreux partenaires. Quatre axes de recherches ont été identifiés : caractérisation du massif, mécanismes de déformation et de rupture, propagation et méthodes de calcul, dispositifs de protections. Les activités de la division MSRGI ont concerné jusqu'à présent les trois premiers axes. Par ailleurs, le montage du projet de station d'essai de chutes de blocs a également fortement mobilisé la division MSRGI au cours des deux dernières années.

1.3.1. Connaissances des glissements de terrain

L'amélioration de la compréhension des phénomènes mis en jeu dans les glissements de terrain passe par la connaissance de l'histoire structurale du site afin de mieux cerner les rapports entre les événements tectoniques s'étant succédés et la genèse des désordres observés.

Au cours de la période (2001-2004), les efforts ont porté, d'une part, sur le versant de Séchilienne et, d'autre part, sur la recherche de facteurs de prédisposition et d'indices précurseurs d'instabilité dans le cadre d'un projet de la Mutuelle des Assurances MAIF, qui s'est terminé en 2001. L'étude structurale du versant de Séchilienne (Isère), basée sur l'exploitation des photographies aériennes et sur des levés de terrain, a apporté un éclairage nouveau sur la genèse des mouvements. Les études menées dans le cade du projet MAIF concernent des glissements de terrain récents pour lesquels on dispose de photos aériennes sur une période de temps suffisamment longue pour pouvoir effectuer une analyse à rebours. L'interprétation est basée sur l'identification des éléments associés au mouvement et sur la compréhension de leur rôle dans le processus d'instabilité. La photo-interprétation apporte des informations sur les phénomènes passés, actifs et potentiels et permet l'évaluation semi-quantitative de la dynamique du mouvement (volume de matériaux mobilisés, extension, nombre de phases, intensité des dégâts) et de sa cinématique (par le biais de photos multitemporelles).

Le programme européen IMIRILAND (2001-2003) a concerné la gestion des risques liés aux grands mouvements de terrain dans les Alpes. Ce projet recouvre à la fois la connaissance de l'aléa et sa prise en compte dans l'aménagement. La division MSRGI (P. Pothérat, J.-L. Durville, R. Russo) s'est impliquée dans le développement de méthodologies d'évaluation du risque et dans l'établissement de stratégies de réduction de celui-ci à moyen et long terme. Une synthèse sur les connaissances géologiques du glissement de Séchilienne a été produite. Des comparaisons entre diverses approches de calcul ont été réalisées dans le cas de ruptures complexes (non circulaires). Elles ont montré que les méthodes traditionnelles donnaient des résultats proches de ceux fournis par la méthode des éléments finis. Suite aux départs de J.-L. Durville et P. Potherat en 2002 pour le CETE de Lyon, la division MSRGI n'a plus été directement impliquée dans la dernière année de ce projet, sauf pour les aspects de gestion administrative.

1.3.2. Utilisation de la géophysique pour caractériser les massifs rocheux instables

Afin de mieux caractériser la structure géologique d'un massif rocheux instable, la division MSRGI a étudié en 2004 le recours à des méthodes géophysiques, notamment la sismique réflexion. Ces méthodes devraient permettre de combler le manque d'informations « en profondeur » sur les glissements, et apporter des données nouvelles pour des modélisations futures (détection de la surface de rupture, identification des discontinuités impliquées dans le mouvement, reconnaissance du champ de fractures en termes de profondeur et d'extension, caractérisation mécanique et hydraulique du massif en mouvement). Des contacts ont été établis avec différents organismes, permettant d'élargir le nombre de méthodes à tester : le LIRIGM (dans le cadre du programme de recherche du GIS GEMAUN), l'Ecole Centrale de Lille et l'Institut de géophysique de Lausanne. En 2004, le glissement de la Clapière a été étudié afin d'évaluer la possibilité de mettre en œuvre ces méthodes. D'autres sites de glissements, plus faciles d'accès, sont à l'étude.

1.3.3. Modélisation du glissement visqueux

Les glissements de terrains dans les massifs rocheux sont très sensibles aux précipitations atmosphériques. Un modèle de glissement visqueux sur un joint rocheux, dont les paramètres (viscosité, seuil, …) dépendent de la quantité d'eau présente dans le joint, a été mis au point à la division MSRGI pour expliquer les corrélations observées entre les données pluviométriques et les vitesses de glissement (A. Pouya, 2004 ; Figure 11). Un outil de simulation fondé sur ce modèle a été développé et testé dans le cas du glissement de La Clapière. Les premiers résultats montrent une bonne corrélation entre les vitesses mesurées et celles calculées par le modèle : l'allure générale est respectée (Figure 12). Cependant, pour retrouver l'amplitude des pics de vitesse observés sur la période, il est nécessaire d'introduire, en plus de la pluie, la quantité de neige fondue. Les recherches sur l'amélioration de ce modèle seront poursuivies en 2005.

1.3.4. Modélisation de la fracturation des massifs

La modélisation de la fracturation diffuse du massif est un autre élément important de l'étude de la stabilité. Depuis 2002, des recherches ont été organisées en collaboration avec les ERA de Toulouse et de Lyon sur la pertinence des méthodes de modélisation de la fracturation des massifs rocheux à partir des données de sondage et des relevées de terrain (post-doc O. Fouché). En particulier, les fondations du viaduc de Saulières (2002-2003) ont été étudiées : à partir de la donnée de quelques forages, la reconstitution de la fracturation sur la longueur de l'ouvrage a été effectuée à l'aide d'un logiciel statistique et a permis ensuite de construire des modèles numériques 3D (modèle continu) et 2D (modèle discontinu) plus rigoureux et plus complexes que ceux issus des études traditionnelles (P. Alfonsi).

Du point de vue de la modélisation numérique, deux approches sont en cours de développement :

- la première approche se situe au niveau macroscopique (mécanique des milieux continus) et a pour but de réaliser des calculs d'ouvrage (thèse de F. Rojat, collaboration MSRGI – ERA de Toulouse – EPFL). Il s'agit d'élaborer et de valider un modèle élastoplastique avec élasticité non linéaire pour reproduire le comportement en laboratoire des roches de qualité médiocre (roches broyées ou très fissurées). Puis, des simulations numériques d'un ouvrage souterrain instrumenté seront réalisées. Les premiers travaux ont conduit à retenir le critère de rupture de Hoek et Brown généralisé, issu des recherches de l'EPFL, et à l'introduire dans CESAR-LCPC (E. Bourgeois). Il sera ensuite complété par une élasticité non linéaire ;
- l'autre approche est fondée sur des mélanges d'éléments finis de volume et d'éléments joints pour représenter les réseaux de fissures dans les massifs rocheux (A. Pouya). Ce travail est effectué au cours du stage post-doctoral de F. Elmi, qui a débuté en juillet 2004.

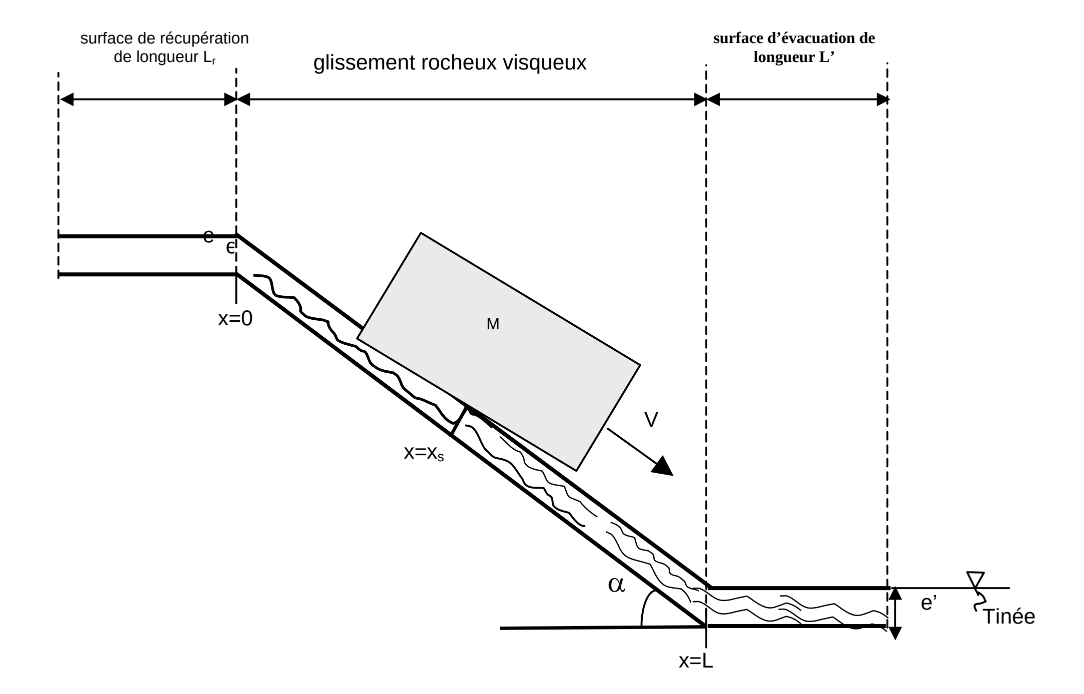


Figure 11. Le modèle suppose l'existence d'une surface de rupture qui constitue le joint rocheux. Il est fondé sur les paramètres géométriques propres au glissement (la masse en mouvement M, la longueur L et la pente α de la surface de rupture, …). Il considère alors une masse M, glissant avec un contact frottant visqueux sur la pente inclinée de α. Il prend aussi en compte les paramètres hydrauliques afin de reproduire un modèle d'infiltration d'eau dans le joint rocheux (perméabilité, quantité d'eau présente, débit entrant et sortant…). Les relevés des stations météorologiques proches ont été utilisés (pluviomètres et nivomètres) pour introduire l'apport en eau dans le massif. L'eau, sous forme de pluie et de neige fondue, s'infiltre alors en x=0, au sommet du glissement, s'écoule dans le joint à la vitesse v_{ec} et s'évacue dans la Tinée en x=L. x_s, est le point à partir duquel le joint rocheux devient saturé. Le modèle fournit alors une vitesse V du glissement qui peut être ensuite comparée à la vitesse réelle, mesurée sur le site. La période étudiée s'étend de juin 1991, date de mise en place des mesures automatiques de vitesse sur le glissement de la Clapière à 1998.

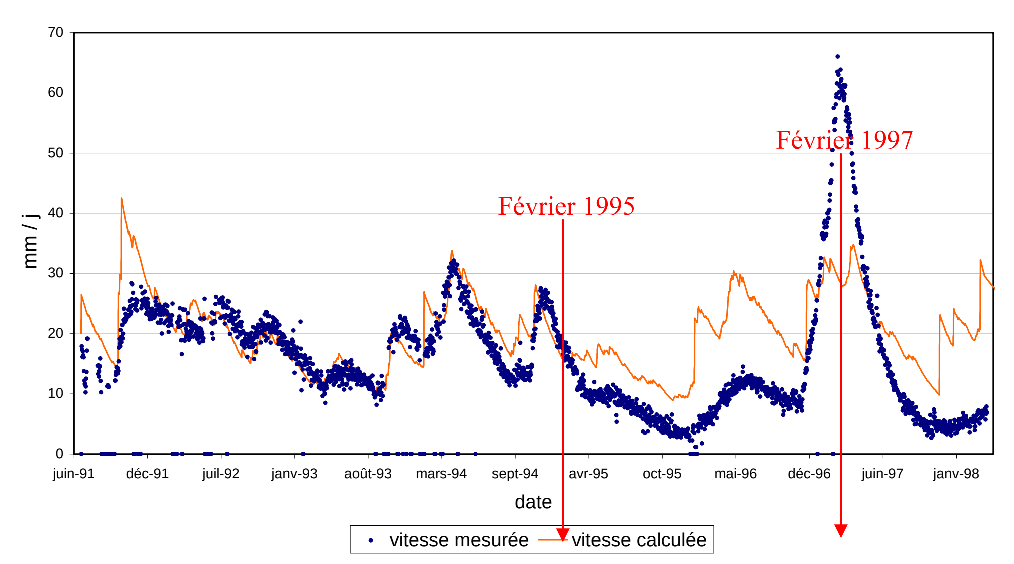


Figure 12. Comparaison entre le modèle et la vitesse de la cible 10 mesurée sur site. Le résultat obtenu montre une assez bonne corrélation entre les vitesses mesurées et celles calculées par le modèle. Cependant, après février 1995, on observe un ralentissement du glissement (la vitesse calculée est toujours supérieure à celle mesurée). Lors des différentes phases d'accélération du mouvement, on peut supposer que les caractéristiques du glissement ont évolué modifiant ainsi les paramètres mécaniques et hydrauliques à prendre en compte dans le modèle (viscosité, perméabilité, débits…). D'autre part, le pic de vitesse observé en février 1997 n'étant pas reproduit correctement, on suppose alors qu'il est indépendant de l'apport en eau dans le massif et résulterait plutôt d'une rupture mécanique du glissement, non modélisée.

1.3.5. Altération des massifs rocheux – Applications aux falaises

L'aspect temporel du risque est aussi une préoccupation en matière d'instabilité des massifs rocheux (falaises). Il ne peut être décrit que par l'étude et l'analyse des mécanismes d'altérations des roches et des massifs rocheux et la caractérisation de leur cinétique. Un ensemble de recherches bibliographiques, expérimentales et théoriques sur ce thème a été entrepris à la division MSRGI depuis 2003.

Expérimentalement, une première approche du phénomène d'altération dans les falaises calcaires a consisté à étudier le développement de la fissuration, associée à la décompression du massif et sous l'effet de cycles thermiques et de gel-dégel. Une étude de la fissuration du calcaire Urgonien (région grenobloise) a été entreprise, en 2004, en collaboration avec le LIRIGM (GIS GEMAUN). La perte des caractéristiques de résistance de ce calcaire sous l'effet du gel-dégel est en cours de caractérisation expérimentale au laboratoire de Mécanique des roches de la division MSRGI. L'objectif est d'établir un modèle quantitatif de l'avancement de la fissuration en fonction du nombre de cycles.

Une thèse intitulée « Modélisation mécanique des processus d'altération des roches/ Application à la stabilité des massifs rocheux » a débuté en octobre 2004. Une étude bibliographique sur les mécanismes physico-chimiques d'altération dans différents types de roches a été réalisée.

1.3.6. Études de sites expérimentauxs

La stabilité du site dit « Roches de Valabres », dans la vallée de la Tinée fait l'objet de recherches approfondies de la part de plusieurs organismes (INERIS, LAEGO) auxquels s'est joint le réseau des LPC (MSRGI, LR de Toulouse, LR de Nice). La division MSRGI a coordonné au niveau du RST ces recherches qui sont en phase de démarrage (prélèvement d'éprouvettes, tests sur les discontinuités).

1.3.7. Station d'essais de chutes de blocs

En 2006, le LCPC a le projet de construire une station d'essais de chutes de blocs dans l'emprise d'une ancienne carrière sise sur la commune de Rovon dans le Vercors (Isère), à une heure de route de Lyon. Cette carrière offre une dénivelée de l'ordre de 150 m sur une pente à 35% avec un carreau d'un hectare environ. L'installation est composée d'une partie amont, ancrée en partie haute de la carrière, et d'une partie aval. Ces deux parties sont reliées par un système de type téléphérique, capable de larguer des blocs à position et vitesse choisies sur différentes planches d'essais installées en pied de versant. La masse des blocs embarqués est comprise entre 1 et 16 tonnes ; leur vitesse peut aller jusqu'à 27 m/s (bloc de 1 tonne) et 35 m/s (bloc de 16 tonnes). La gestion quotidienne de la station sera assurée par l'ERA de Lyon. Depuis l'origine, la division MSRGI participe au suivi du projet et à la définition du programme scientifique (J.-L. Durville, puis A. Pouya).

La station doit permettre de réaliser des essais correspondant aux objectifs suivants :

- certifier des écrans de filet par des essais répétitifs et de courte durée ;
- améliorer les méthodes de justification et de dimensionnement des dispositifs de protection (filets, merlons, casquettes) ;
- mener des recherches sur le comportement des bâtiments et des fondations d'ouvrage d'art soumis à des impacts de blocs ;
- analyser les phénomènes de rebonds sur différents types de sols et surfaces pour valider et faire progresser les outils de trajectographie ;
- étudier le comportement des milieux granulaires (essais de largage de plusieurs blocs ou déversement de produits granulaires dans des conditions maîtrisées).

1.3.8. Modélisation de la trajectographie et des chutes de blocs

La simulation de la propagation de blocs rocheux, de leur rebond et de leurs impacts sur un sol ou un ouvrage, nécessite des efforts importants d'expérimentation, d'analyse théorique et de simulation numérique. Différents outils de calcul 3D ont ainsi été élaborés dans les domaines des collisions, de la trajectographie, des chutes de blocs et de la propagation d'éboulements, à partir du travail de thèse d'E. Dimnet (2002), effectué au LMSGC. Les premiers tests ont montré l'intérêt de ce nouvel outil de simulation (Figure 13). Il reste à le valider sur des cas réels, ce qui devrait être possible en utilisant la station d'essais de chutes de bloc en projet.

En 2003, un effort particulier a été consacré au développement du moteur de calcul de trajectographie tridimensionnelle STAR3D (Simulations pour la Trajectographie et les Avalanches de Rochers en 3D). L'objectif est de perfectionner les outils numériques afin d'aboutir à des codes opérationnels pour l'ingénieur ou le chercheur.

Une coopération fructueuse avec l'Université de Santiago (Chili) a permis d'avancer dans la modélisation des éboulements rocheux par une approche de type écoulement d'un fluide incompressible. Par ailleurs, dans le cadre d'une collaboration avec le CEMAGREF, un outil de simulation trajectographique en zone forestière a été mis au point. Cet outil sert à l'étude du rôle protecteur de la forêt contre les chutes de blocs.

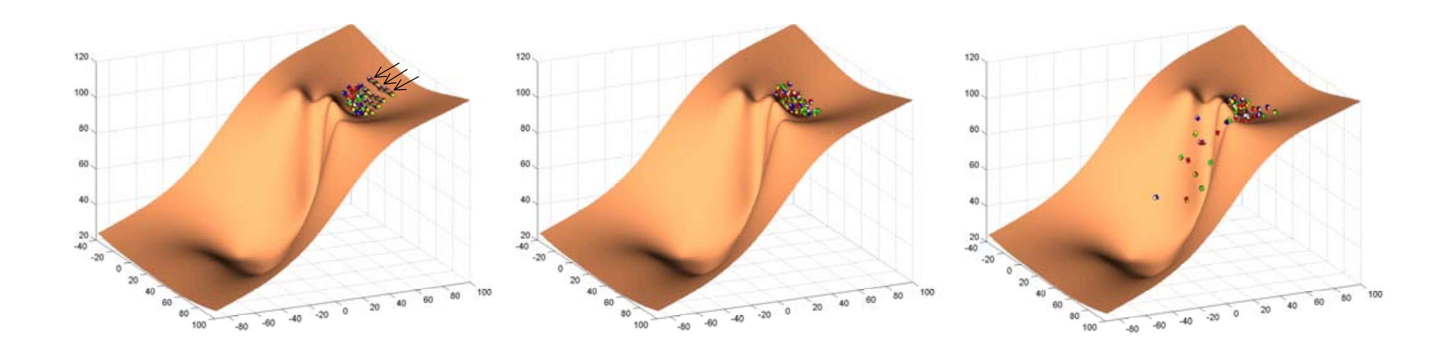


Figure 13. Exemple de simulation de chutes de blocs

2. Comportement des matériaux naturels et artificiels

2.1. Pathologie des matériaux – Pétrographie

Chercheurs : Sylvine Guédon-Dubied, A. Leroux (jusqu’en 2002)

Opération « Propriétés des granulats influençant le comportement des mélanges » (2002-2005)
Opération « Risque rocheux » (2004-2008)
Projet européen PARTNER (2001-2005)

2.1.1. Relations entre caractéristiques minéralogiques et propriétés mécaniques

Les études et recherches sur les matériaux naturels reposent sur la mise en relation de la nature minéralogique et de la microstructure avec les propriétés d’usage, que ce soit sous forme d’enrochement, de pierres en œuvre, de gravillons, de sable ou de fines. Elles portent notamment sur le rôle de la phase argileuse dans les sols, l’influence des fines et ultrafines sur le malaxage et la rhéologie du béton, sur l’altération ou l’altérabilité des pierres, etc.

L’apport de la microscopie optique ou électronique est irremplaçable pour déceler la présence et le mode d’action de composants nocifs (pyrites dans certaines roches, par exemple, Figure 14) ou pour localiser les faiblesses mécaniques (micro-fissuration intra- ou inter-grains, Figure 15).

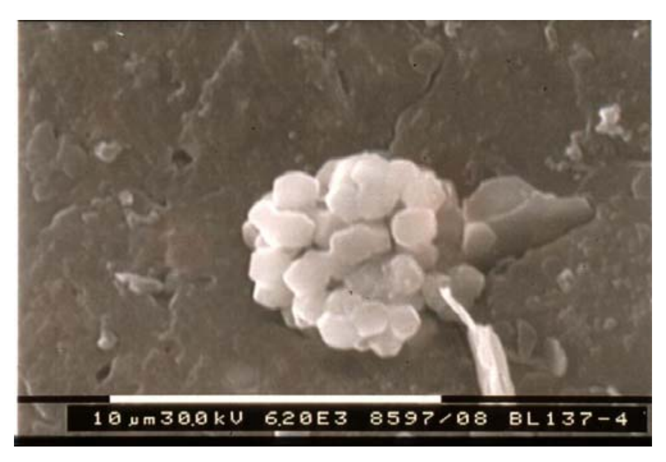


Figure 14. Pyrite framboïdale pouvant occasionner des risques de réaction sulfatique. Microscopie électronique à balayage (x6200)

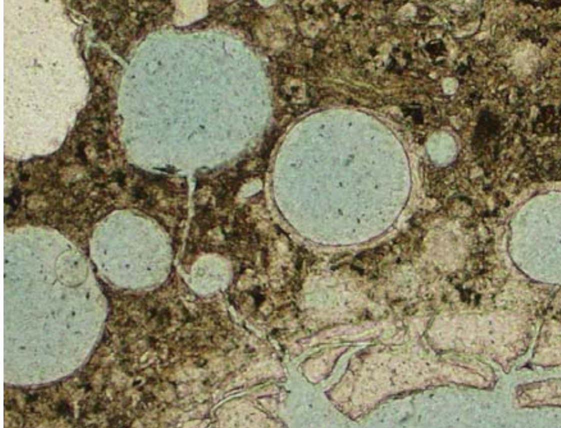


Figure 15. Pores trop gros et trop nombreux mettant en péril la pérénnité du béton. Microscopie optique (x50)

D’autres études ont été effectuées dans le but de mettre en relation l’altérabilité des roches et la diminution de leurs caractéristiques mécaniques au regard du phénomène du gel-dégel (Figures 16 et 17). Cette problématique a été abordée dans le thème concernant le patrimoine et les pierres en œuvre, mais aussi dans le thème concernant les risques rocheux puisque le gel-dégel serait le moteur déclenchant la chute des blocs en parois rocheuses. Des études microstructurales couplées à des essais mécaniques ont été menées pour utiliser les résultats dans la mise au point de la nouvelle norme qui a été publiée en mai 2003 (NF EN 12371).



Figure 16. Pavé gelé dans les conditions naturelles.



Figure 17. Éprouvettes ayant subi un essai de gel en armoire de gel/dégel au laboratoire.

2.1.2. Granulats

Les recherches menées sur les réactions sulfatiques et les réactions alcali-granulats dans les bétons, en relation avec d'autres unités du LCPC et avec des laboratoires français ou étrangers, ont abouti, sinon à une compréhension intime complète des processus, du moins à des procédés opérationnels de détection des débuts de désordres et de prévision de réactivité des granulats.

Le LCPC est impliqué dans le projet européen PARTNER (2002-2006) pour les essais pétrographiques et l'essai de performance visant à tester une formule réelle de béton. Cet essai normalisé à la fin 2004 (NF P 18-454 la norme d'essai et NF P 18-456 son fascicule de documentation) est pratiqué à la division MSRGI depuis la première mise au point de son mode opératoire dans le cadre d'un groupe de travail AFREM en 1990. La quinzaine d'années de recul sur cette méthode rend le LCPC fort pour la proposer au niveau européen au travers de la RILEM et de son groupe de travail TC-ARP (devenu TC-191). Les résultats des essais croisés sur 18 granulats en provenance des 9 partenaires européens du projet PARTNER, pour les essais pétrographiques et l'essai de performance, ont été rendus fin 2004. La figure 18 illustre le gonflement d'éprouvettes en béton en fonction de différents types pétrographiques de granulats. Ces courbes peuvent servir à la sélection des granulats pour éviter ce risque de gonflement.

Un autre aspect du projet européen concerne la pédagogie puisqu'un groupe de « petrographer teachers » a été créé en 2003 et S. Guédon-Dubied y représente la France avec cinq autres teachers. De cette collaboration de spécialistes sortira un atlas pétrographique qui aura comme vocation de guider les futurs utilisateurs de granulats et les prémunir contre l'alcali-réaction, par une meilleure identification des cas de réactivité.

Les recherches menées dans le domaine des particules fines ont pour objectif d'acquérir une bonne connaissance de leur taille, de leur composition chimique, de leurs caractéristiques physiques, minéralogiques, électriques, etc. Pour une utilisation bénéfique, il est indispensable de connaître leur interaction avec les milieux alcalins des liants hydrauliques ainsi que leur réactivité en fonction de la classe granulaire et de la forme des particules.

L'étude de l'analyse granulométrique sur les fines (différentes méthodes, essais croisés…) s'est terminée en 2001 avec une recommandation technique qui devrait voir le jour sous la forme d'une méthode MLPC. En 2002, un travail bibliographique a été effectué dans le domaine des essais et de l'étude du comportement des granulats sans liant et sur le rôle des particules fines (< 125 µm).

L'acquisition d'un zétamètre (livré au LCPC début février 2004) a permis de démarrer l'étude des propriétés électrocinétiques des granulats. La recherche vise à étudier les propriétés électriques des particules en prenant en compte le potentiel électrocinétique zêta. Le principe de la méthode est la visualisation des particules et surtout de leur déplacement sous un faisceau laser défini. Un état de l'art relatif aux propriétés électrocinétiques des fines, et au comportement des éléments fins dans les mélanges granulaires, a été rédigé par S. Seytre (LRPC de Clermont-Ferrand).

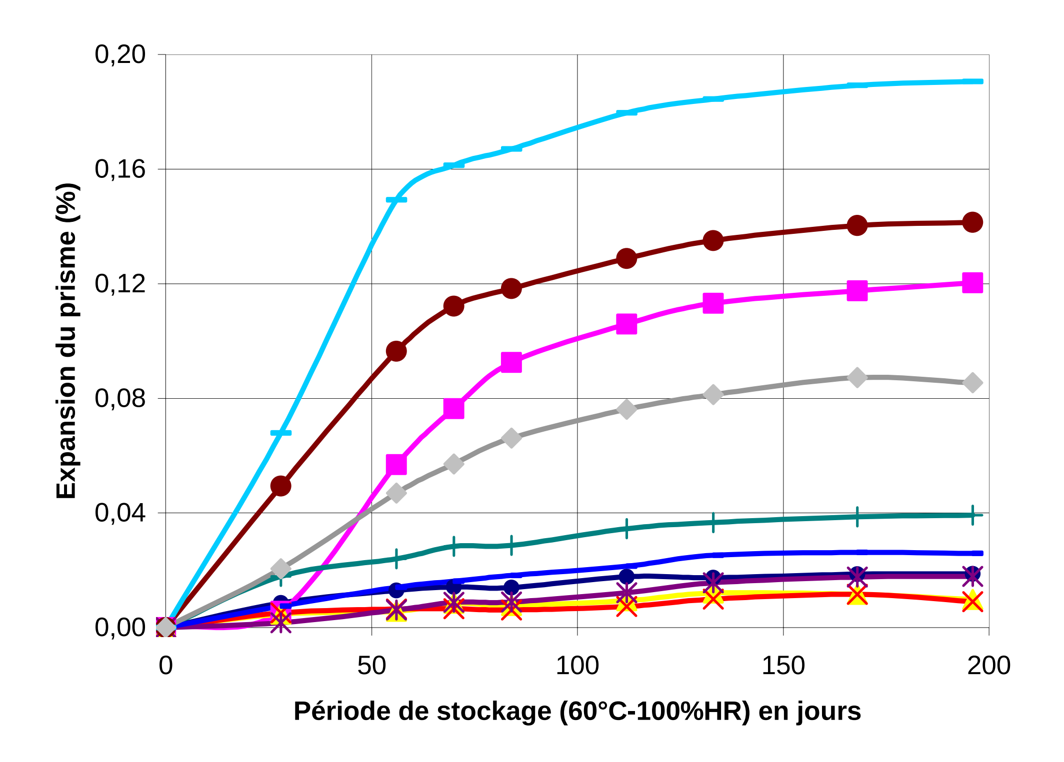


Figure 18. Résultats obtenus par le LCPC dans les essais croisés du projet PARTNER (essai NF P 18-454)

2.1.3. Patrimoine et pierres en œuvre

Plusieurs études sur des monuments et des ouvrages anciens ont été effectuées sur la période 2001-2004, dans le but d'identifier les désordres de la maçonnerie, de comprendre leur origine (apparition antérieure ou postérieure à la mise en place ; pierre seule ou en interaction avec le mortier de liaison) et de faire des propositions de pierres de remplacement, esthétiquement proches mais ne comportant aucun risque de dégradation une fois posées (S. Guédon-Dubied).

Le développement de l'utilisation de plaques de pierre sur les façades de bâtiments et, en particulier, de certaines constructions de prestige, a mis en évidence la nécessité d'un contrôle très strict de la qualité des pierres mises en œuvre. Faute de quoi, des désordres apparaissent avec des conséquences en termes de danger (chutes de plaques) ou de contentieux économique (coût de remplacement très élevé). Les expertises réalisées par la division MSRGI avec l'aide d'autres unités, pour l'auscultation sonique notamment, sur des bâtiments récents ayant subi des désordres, ont démontré l'importance d'une étude structurale approfondie du gisement d'où les pierres sont extraites, afin de déceler les défauts peu apparents ou latents résultant de l'histoire géologique (Figure 19). Par ailleurs, les matériaux sensibles aux écarts de température (certains marbres par exemple, Figure 20) subissent un vieillissement progressif qui se traduit par une dégradation des caractéristiques physico-mécaniques, en raison des forts contrastes de température journaliers mesurés.

L'achat d'un pycnomètre à hélium (2001) a permis de relayer les mesures manuelles qui étaient faites auparavant. Il peut être utilisé pour la mesure de la masse volumique absolue sur les roches mais aussi sur les sols. La fiabilité de ce genre de mesure a une importance directe dans l'estimation de la taille des pores réalisée en porosimétrie au mercure, et cette donnée est essentielle dans la compréhension des phénomènes liés par exemple au gel-dégel des roches.



Figure 19. Grès poreux non adapté à une utilisation en dallage. Microscopie optique (x50)

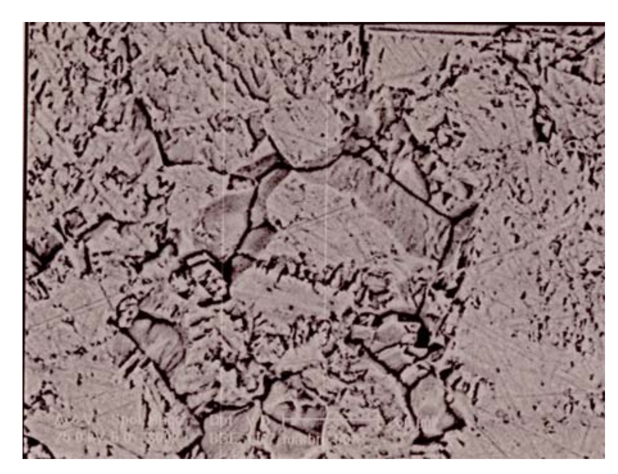


Figure 20. Marbre fissuré par l'action de la chaleur. Microscopie électronique à balayage (x500)

Toutes les données mécaniques, physiques, chimiques et pétrographiques ont été regroupées dans un fichier nommé DATAROC qui contient fin 2004 environ 1000 fiches dont 400 calcaires pour la plupart provenant du bassin de Paris. Cette base de données est une mine de renseignements qui permet de resituer une roche inconnue parmi celles de même pétrographie déjà répertoriées et ainsi choisir une pierre de remplacement pour un monument à restaurer. La base DATAROC va servir également à bien choisir plusieurs échantillons intéressants pour lancer une campagne d'essais liée à la thèse de M. Bost sur l'altération des roches.

2.2. Étude du comportement des sols naturels

Chercheurs : Philippe Reiffsteck, Serge Borel (jusqu'en 2003), Eric Dimnet

Opération « Caractérisation de la déformabilité des sols au moyen des essais en place » (1999-2002)
Opération « Comportement des sols gonflants » (1998-2002)
Opération « Comportement des sols grossiers » (1999-2002)
Opération « Propriétés mécaniques des sols et des roches » (2001-2005)

L'étude des sols naturels vise à décrire, à l'aide de modèles, la façon dont ils se comportent sous l'effet des sollicitations apportées par les ouvrages géotechniques. De façon générale, ces études comportent deux étapes :

- la première est purement expérimentale et consiste à tester le matériau sous différentes sollicitations en place et en laboratoire. Cette étape fait appel aux essais in situ et, en laboratoire. Des appareillages originaux ont été développés pour améliorer cette caractérisation ;
- la deuxième est théorique. Elle vise à caler un modèle existant sur les résultats expérimentaux obtenus ou à élaborer un nouveau modèle de comportement permettant de reproduire les phénomènes observés.

Ces recherches doivent apporter des réponses pratiques aux problématiques étudiées au sein d'autres opérations, et notamment permettre de proposer des lois de comportement et des méthodologies de détermination des valeurs des paramètres nécessaires aux méthodes de calcul (y compris la méthode des éléments finis ou le calcul par blocs).

2.2.1. Nouveaux appareillages in situ pour caractériser les propriétés des sols

Les interrogations des professionnels sur le comportement des ouvrages à des faibles taux de déformation ont conduit la division MSRGI à mener avec le réseau des LPC et des partenaires externes (Fugro, BRGM, LERMES CUST…), des recherches dont l'objectif était de définir des méthodes fiables pour la détermination des valeurs des paramètres de calcul des déformations des sols et des ouvrages. Il s'agissait de déduire ces paramètres d'essais en place (réalisés au moyen des appareils nouveaux ou classiques comme le pressiomètre, le pressiomètre autoforeur, le pénétromètre statique, le piézocône) et des autres méthodes disponibles pour caractériser les terrains : mesures des paramètres lors de l'exécution des sondages, diagraphies réalisées dans les trous de forage, investigations géophysiques (Figures 21 et 22). Deux sites expérimentaux (argile des Flandres à Merville et sable de Loire à Orléans) ont été retenus pour mettre en œuvre différentes techniques expérimentales de caractérisation en place de la déformabilité des sols. En 2003, la principale conclusion des recherches a été de constater qu'il était impossible de déduire, de manière robuste, les valeurs des paramètres nécessaires pour l'utilisation de lois de comportement non linéaire, à partir des essais in situ : les incertitudes et les variabilités sont trop grandes avec les matériels actuels (Figure 22).

Il devient donc essentiel d'améliorer l'estimation de ces paramètres, et notamment des modules de cisaillement pour des distorsions inférieures à 0,01 (Figure 22b). Un prototype original d'appareil triaxial en place a été développé à cette fin par la division MSRGI (Ph. Reiffsteck). Cet appareil, breveté en septembre 1999, a été étudié par le LCPC-SEF en 2001 puis fabriqué et livré en 2003 par le CECP de Rouen. Il est aujourd'hui entièrement équipé et les programmes d'asservissement écrits et testés (Figure 23).

Avec le même objectif d'améliorer la caractérisation des sols en place, une autre action de développement a concerné la mise à niveau du pressiomètre autoforeur de nouvelle génération (PAF2000) en bénéficiant des réflexions et solutions techniques développées pour le triaxial en place. Le cahier des charges a été rédigé en 2002 et la réalisation, confiée au CECP de Rouen, s'est achevée en 2004. La conception de la membrane et la métrologie ont fait l'objet d'une grande attention. Le matériel d'essais pressiométriques autoforés sera opérationnel au début de l'année 2005 (Figure 24).



(a) Essais géophysiques



(b) Essais pénétrométriques et pressio-pénétrométriques

Figure 21. Réalisation des essais sur le site de Merville

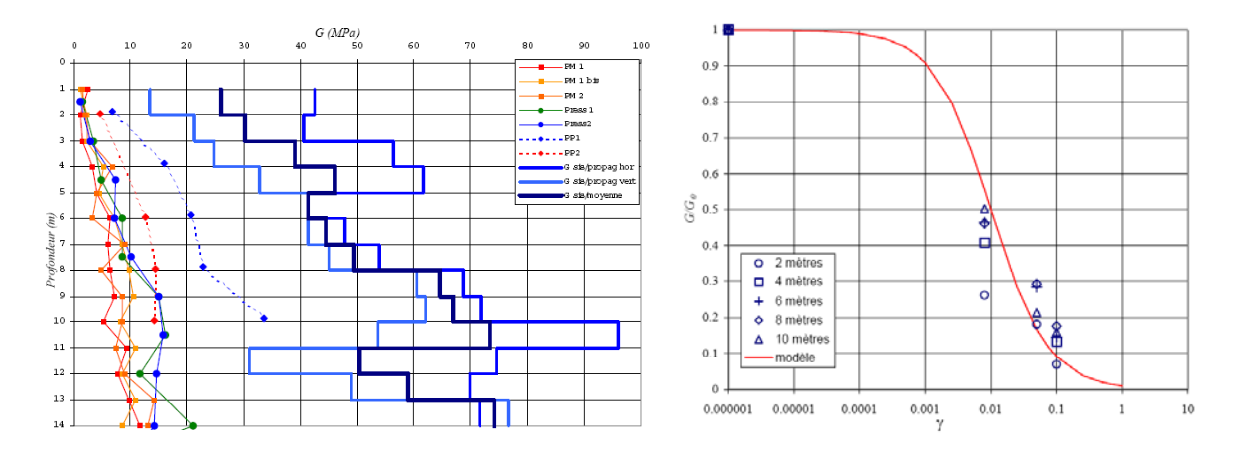


Figure 22. Synthèse des résultats d'essais : a) comparaison des modules de cisaillement sismiques et pressiométriques ; (b) évolution du module avec la déformation (échelle logarithmique). Plusieurs types de courbe peuvent passer par les points expérimentaux.

Le développement de ces appareils a également nécessité l'écriture de nouveaux modes opératoires adaptés à l'évolution des technologies d'essais et aux nouvelles normes européennes.

Un contrat de recherche a été passé avec le CUST de Clermont-Ferrand sur le thème de la détermination des propriétés du sol à partir d'un pénétromètre statique (2000-2003). Cette recherche a abouti à de nombreux résultats d'essais en cuve qu'il reste à interpréter pour remonter à une estimation des modules de déformation des sols.

Les sites expérimentaux concernés restent disponibles pour y réaliser des essais croisés complémentaires en bénéficiant d'une reconnaissance des sols très complète. Le site de Merville a ainsi été choisi pour réaliser un important plot de comparaison entre battage et vibrofonçage dans le cadre d'un Projet National de l'IREX (2003-2004).

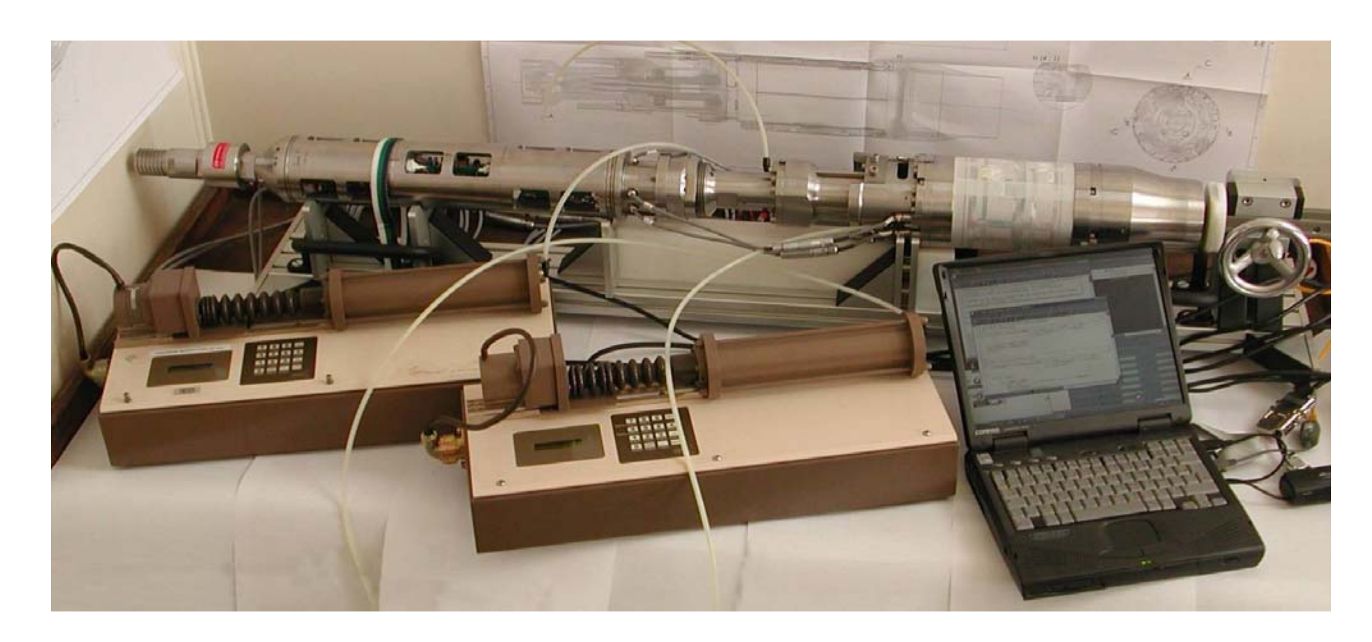


Figure 23. Appareil triaxial in situ



Figure 24. Rendu réaliste de la sonde du pressiomètre de nouvelle génération

2.2.2. Essais de laboratoire pour caractériser le comportement des sols

Le laboratoire de Mécanique des sols de la division MSRGI constitue un des outils de caractérisation du comportement des sols du réseau des LPC, qui compte au total cinq laboratoires de Mécanique des sols actifs dans le domaine de la recherche (MSRGI, RMS, LRPC d'Aix-en-Provence et de Rouen, CERMES). Ces différents laboratoires se sont spécialisés dans des domaines complémentaires (tableau 9). Le domaine d'excellence du laboratoire de la division MSRGI est le comportement des sols fins naturels.

Tableau 9. Axes de recherche des laboratoires de Mécanique des sols du réseau des LPC

Laboratoire	Axes de recherche
LCPC-MSRGI	Sols fins naturels
LCPC-RMS	Sols fins compactés
LRPC d'Aix en Provence	Sols raides ; roches tendres
LRPC de Rouen	Sables ; sols grossiers
CERMES (ENPC/LCPC)	Milieux granulaires sous sollicitations statiques et dynamiques ; sols non saturés

La période 2000-2004 a été consacrée à la rénovation des équipements du laboratoire de Mécanique des sols. Les nouveaux appareillages disposent de moyens de mesure permettant d'accéder aux faibles déformations, enjeu majeur de la recherche actuelle en rhéologie des sols. Parmi ces nouveaux appareillages, figurent deux appareils originaux et innovants conçus par les équipes de la division MSRGI, du service Matériel du LCPC et par les CECP :

- la Presse Triaxiale pour éprouvettes Cylindriques Creuses (PTCC). Depuis son arrivée en 1999, celle-ci a nécessité plusieurs modifications liées à la sécurité et à la mise au point technique et

informatique. Les premiers tests sur sols naturels n'ont véritablement commencé qu'en 2001, et les travaux de recherches en 2002 ;
- le nouvel appareil biaxial, dont le cahier des charges a été achevé en 2002. Cet appareil, livré en octobre 2004, a permis de compléter la gamme des essais possibles avec rotations de contraintes. Les premiers essais seront réalisés en 2005.

Complétés par des presses triaxiales et des oedomètres plus classiques, ces appareils ont servi ou vont servir à mieux caractériser plusieurs éléments du formalisme élastoplastique utilisé pour la modélisation du comportement des sols naturels :
- influence de la rotation des contraintes sur le critère de rupture (thèse de K. Nasreddine, soutenue en 2004) ;
- comportement des sols en petites déformations. Sur ce thème, la thèse de Mlle Nguyen Pham a débuté en octobre 2004. La partie expérimentale de la thèse repose sur l'utilisation de l'appareil triaxial de précision avec bender elements, du triaxial in situ et du pressiomètre autoforeur ;
- forme de la loi d'écoulement au voisinage de la rupture et effet de la rotation des contraintes. Une thèse débutera sur ce thème en octobre 2005. Les recherches s'appuieront sur les appareils PTCC et biaxial pour étudier l'influence de la rotation des contraintes sur la loi d'écoulement plastique des sols. L'objectif est d'améliorer la simulation des variations de volume dans les modèles de calcul 3D par éléments finis.

Pendant la période 2001-2004, la presse PTCC a été utilisée pour tester des sols prélevés sur les sites expérimentaux suivants :
- trémie Pasteur (Rouen), en vue de la simulation de cet ouvrage par un modèle d'éléments finis 3D (choix de la loi de comportement du sol et valeurs des paramètres) ;
- rocade d'Harfleur, en vue de l'étude par éléments finis d'un remblai sur inclusions rigides ;
- Merville, site expérimental des LPC qui a servi à réaliser une trentaine d'essais de pieux ;
- Rotterdam Pernis, en partenariat avec GeoDelft (Pays-Bas), dans le but d'améliorer la caractérisation des sols et notamment l'influence de la rotation des contraintes sur la rupture.

L'analyse de l'ensemble de ces résultats in situ et en laboratoire a permis de proposer un modèle théorique simple pour tenir compte de la rotation des contraintes dans la modélisation des massifs de sol (thèse de K. Nasreddine, soutenue en 2004).

La majorité des expériences sur cylindres creux, réalisées dans le passé, ont été faites avec une pression interne et externe au cylindre identiques, ce qui implique un couplage entre les variables b (effet de la contrainte intermédiaire) et α (effet de la rotation des contraintes). L'intérêt des travaux menés au laboratoire de Mécanique des sols de la division MSRGI a été d'analyser la dissociation de ces variables en réalisant des essais à b = constante (0, 0,5 et 1). Les observations faites au cours de la thèse de K. Nasreddine (2004) ont ainsi mis en évidence que cette dissociation des variables b et α entraînait des ruptures plus précoces des éprouvettes, et une allure différente pour la relation M-b (Figure 25). Certains auteurs de la bibliographie (Broms et Casbarians par exemple) avaient déjà observé cette tendance. L'analyse de cette influence sera approfondie par des essais complémentaires dès 2005. En particulier, le couplage entre les variables b et α sera étudié à l'appareil biaxial et à l'appareil triaxial pour éprouvettes cylindriques creuses dans le cadre d'une thèse de doctorat qui démarrera à l'automne 2005. Le couplage sera également étudié par rapport à la nature de l'anisotropie des sols.

Avec : $b = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_2 - \sigma_3}$ et $\alpha = \frac{1}{2}\arctan\left(\frac{2\,\tau_{rz}}{\sigma_{zz} - \sigma_{rr}}\right)$

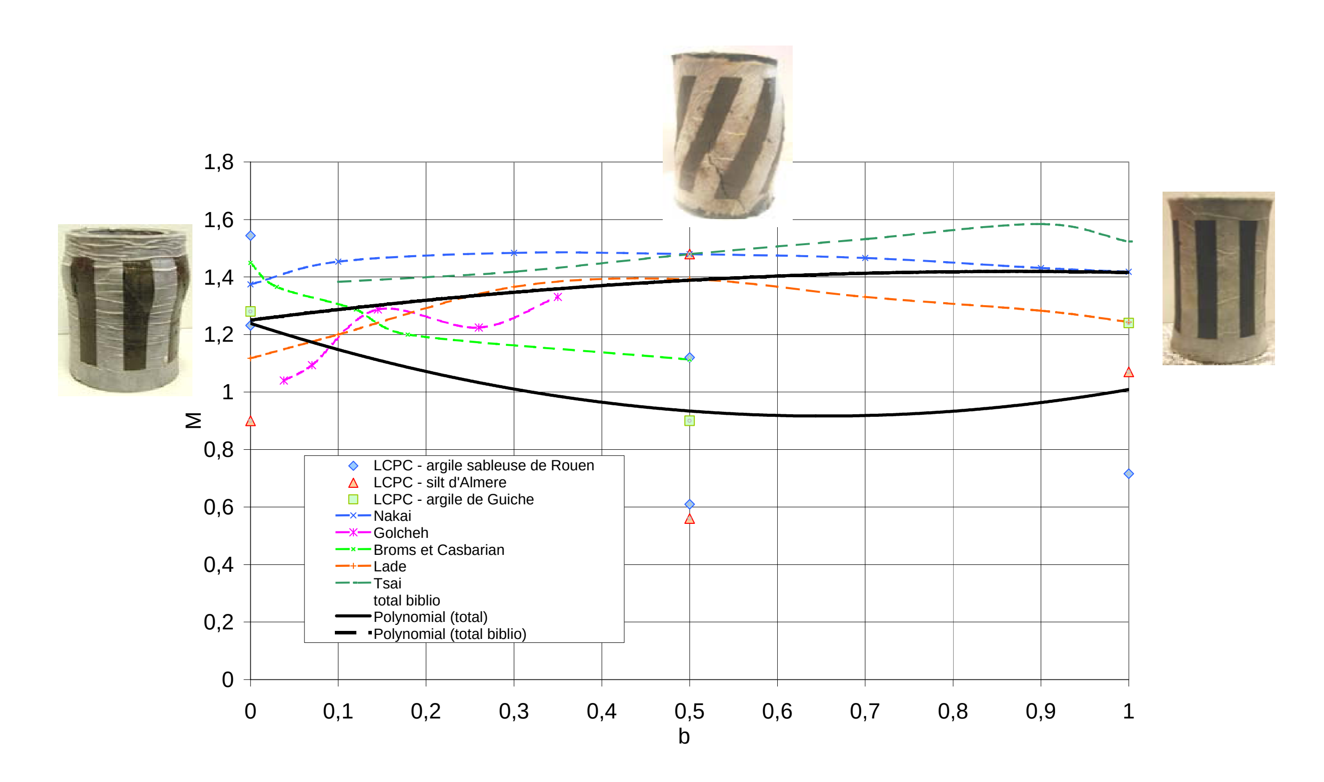


Figure 25. Variation du paramètre de rupture M (maximum du rapport q/p)
en fonction de la variable b qui caractérise l'effet de la contrainte intermédiaire.
Sont représentés les résultats obtenus au LCPC et les résultats publiés dans la littérature.

2.2.3. Caractérisation des sols hétérogènes

Les recherches menées depuis 1999 ont pour objectif de caractériser le comportement mécanique des sols comportant de gros éléments (jusqu'à 200 mm), en vue d'améliorer les modèles de calcul des ouvrages concernés par ces matériaux (fondations, déblais, remblais, pentes naturelles, etc.). Un travail de compilation et de validation de différentes données de chantiers a permis de proposer un modèle rhéologique pour sols hétérogènes (2003). Ce travail a été validé sur les résultats d'essais croisés à l'appareil triaxial sur un matériau reconstitué, et à la boîte de cisaillement sur sols hétérogènes (Ph. Reiffsteck). Cette étude de l'influence de la structure et de la texture du matériau sol sur son comportement a été menée en collaboration avec le LIRIGM.

La division MSRGI a par ailleurs entrepris des recherches importantes dans le domaine de la modélisation numérique du comportement des sols granulaires très hétérogènes. En 2002, les tentatives de simulation des essais avec des modèles fondés sur une approche de type milieu continu ont été des échecs. Cette approche a été définitivement abandonnée pour simuler les essais de laboratoire, dès que les travaux d'E. Dimnet (2002) ont abouti à un logiciel capable de simuler l'interaction de plusieurs milliers de solides polyédriques. Ce logiciel permet donc de simuler des interactions entre petites et grosses particules. En 2003, les premières applications ont été prometteuses au niveau d'un volume élémentaire de sol grossier en 2D. Un stage post-doctoral a démarré en octobre 2004 (S. Dal Pont) pour simuler un ensemble d'essais de laboratoire. Des comparaisons sont également en cours avec une approche par éléments discrets 2D mise au point au LIRIGM. Les simulations d'essais en 3D seront abordées en 2005.

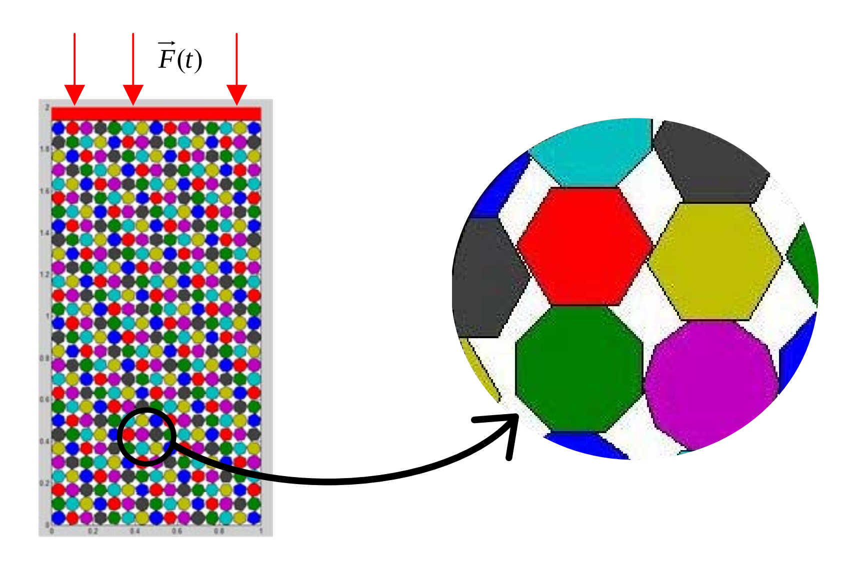


Figure 26. Simulation d'un essai triaxial en 2D (E. Dimnet)

2.2.4. Caractérisation des sols gonflants

Pour les seules constructions de surface, les dégâts provoqués par le gonflement des sols se soldent par de fortes dépenses pour les collectivités. Ces sinistres ont motivé les nombreuses recherches menées depuis 1998. L'objectif était de compléter les connaissances expérimentales sur le comportement des matériaux gonflants rencontrés dans les travaux de génie civil et de mieux tenir compte de ce comportement dans les méthodes de calcul. Les recherches ont associé les divisions MSRGI et RMS, les Laboratoires Régionaux d'Aix-en-Provence, de Rouen, de Toulouse, le Laboratoire de l'Est Parisien (LREP) et le Centre d'Expérimentations Routières (CER) de Rouen, ainsi que le CERMES (centre commun LCPC/ENPC), l'EUDIL, Scétauroute et le Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes du Maroc (LPEE) (Figures 27 à 29).

Les nombreuses expérimentations menées sur divers sols naturels ou compactés ont révélé l'intérêt de réaliser des essais oedométriques pour caractériser le potentiel et la cinétique de gonflement des sols pour des niveaux de chargement équivalents au chargement des ouvrages (ouvrages superficiels ou tunnels). Elles ont montré aussi l'évolution du comportement du sol pendant le gonflement, avec des pertes de rigidité et de résistance pouvant être très importantes et la naissance de fortes réactions latérales pendant le gonflement oedométrique, ce qui souligne le caractère tridimensionnel du phénomène et l'influence des conditions d'essai et des modalités de chargement.

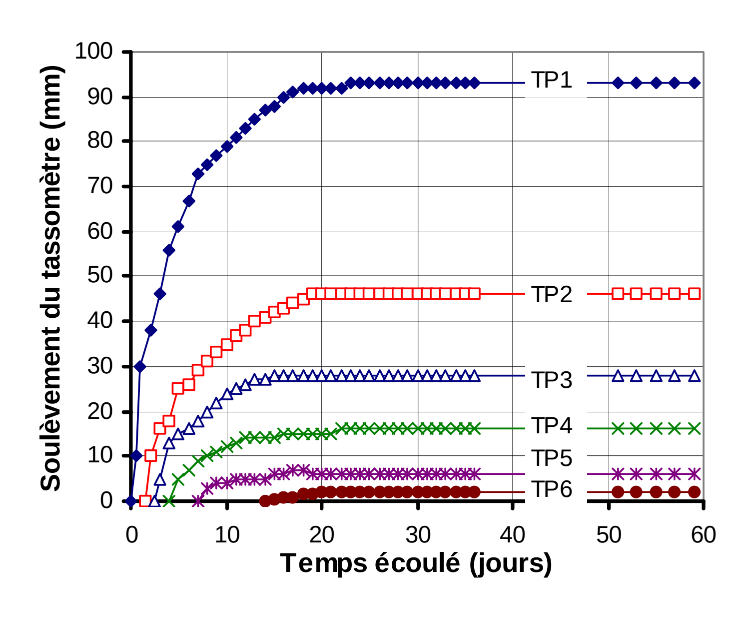
La division MSRGI a développé deux approches théoriques pour modéliser le gonflement :

- un modèle élastoplastique et élastique non linéaire représentant seulement l'effet mécanique du gonflement. Ce modèle a été introduit dans CESAR-LCPC et validé dans le cas d'ouvrages souterrains (tunnel de Chamoise, thèse de F. Bultel, MSRGI/Scétauroute) ;
- une approche en Mécanique des sols non saturés, fondée sur les travaux d'Alonso, pour simuler le gonflement et les interactions hydro-mécaniques. La thèse de T. Kormi (2003) a permis d'améliorer le module de calcul en non saturé de CESAR-LCPC, d'étendre le calcul au 3D et d'aborder la simulation des ouvrages. Les principales difficultés rencontrées pour le calcul d'ouvrages proviennent de l'identification in situ des valeurs des paramètres des sols et notamment de la caractérisation de l'état initial d'un massif de sol non saturé.





Figure 27. Vue d'ensemble de la station d'essais lors de la construction et lors de la submersion sur le site expérimental du LPEE à Ouarzazate



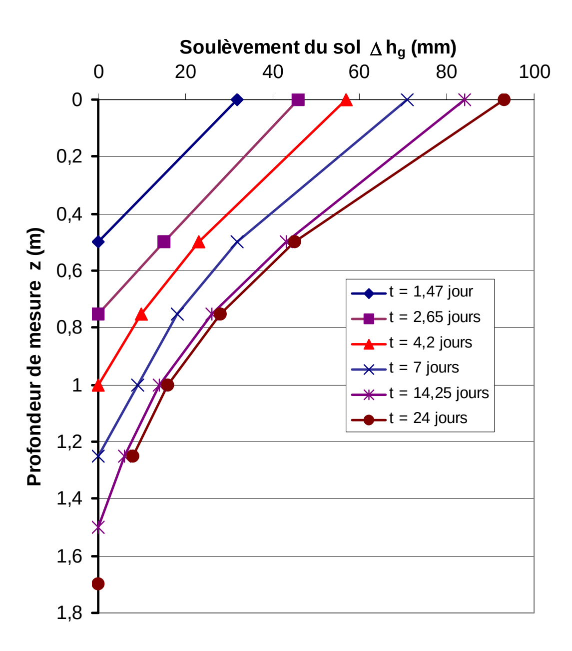


Figure 28. Déplacements verticaux du sol mesurés à différentes profondeurs pendant le processus d'humidification (essais de fondation, LPEE-LCPC)

Figure 29. Évolution au cours du temps du soulèvement du sol à différentes profondeurs (essai de fondation LPEE-LCPC)

Malgré des avancées certaines obtenues dans le cadre de l'opération « Sols gonflants », la complexité des mécanismes de gonflement (décompression, effets de la succion et de phénomènes physico-chimiques, effet du temps) nécessite encore des recherches, notamment en termes de modélisation rhéologique et numérique. Leur avancée conditionne les progrès à venir dans la prise en compte du gonflement pour le calcul des ouvrages. Une partie des recherches est actuellement poursuivie dans l'opération « Terrassements et comportement des matériaux de remblais » (2003-2006) et la thèse d'A. Bakkari (débuté en octobre 2003).

2.2.5. Étude en laboratoire de l'érosion interne des remblais et talus

Les récentes catastrophes dans l'Aude en novembre 1999 et dans le Gard en septembre 2002 ont clairement mis en évidence la grande vulnérabilité des ouvrages géotechniques à leur interface avec un fluide : affouillement de fondations, érosion de remblai ou digues. Les écoulements superficiels et internes ne conduisent pas directement à la ruine de l'infrastructure, mais sapent l'infrastructure en réduisant sa stabilité d'ensemble sous la poussée des eaux et des charges de service. La combinaison de ces phénomènes, s'ils perdurent assez longtemps, menace de ruine l'ouvrage.

L'étude du processus de dispersion de la matrice argileuse de sols structurés à l'aide d'essais avec l'érodimètre à jet mobile, au pinhole test, a été menée sur des sols de différentes textures, de manière à couvrir l'éventail des sols rencontrés sur les talus de déblais ou remblais ainsi que sur les pentes naturelles. L'objectif est d'analyser les résultats de ces essais et des essais en place pour proposer un outil d'aide au choix des paramètres alimentant le modèle d'apparition de l'érosion dans les remblais d'infrastructures de transport, en prenant comme cadre de référence les guides actuels.

Animé par Ph. Reiffsteck, le groupe de travail du Comité Français des Géosynthétiques sur la lutte contre l'érosion à l'aide de géosynthétiques (2001-2003) a proposé un guide technique. En cours d'évaluation, il a été diffusé en 2004 auprès des professionnels.





Figure 30. Matériel d'essais de l'érodimètre à jet mobile et du pinhole test





Figure 31. Éprouvettes après essais à érodimètre à jet mobile et au pinhole test

2.3. Étude des propriétés des roches

Chercheurs : Sylvine Guedon-Dubied, Ahmad Pouya

Opération « Carrières souterraines abandonnées » (1998-2002)
Opération « Propriétés mécaniques des sols et des roches » (2001-2005)
Opération « Risque rocheux » (2004-2008)
Projet européen Dglab-Corinth (MSRGI-CERMES)
Projet transversal « Discontinuités en géomécanique » de l'Institut Navier

L'objectif des recherches est d'améliorer les connaissances sur les propriétés des roches étudiées en laboratoire et de développer des moyens techniques pour les caractériser. Les recherches doivent apporter des réponses pratiques aux problématiques étudiées au sein d'autres opérations.

2.3.1. Équipements du laboratoire de Mécanique des roches (collaboration CERMES-MSRGI)

Fruit d'une collaboration ancienne entre le CERMES (J. Sulem) et la division MSRGI, le laboratoire de Mécanique des Roches du LCPC a bénéficié ces dernières années d'investissements conséquents. En particulier, une presse de nouvelle génération, une cellule triaxiale haute pression, et un générateur de pression, ont été achetés en commun, et installés dans les locaux du LCPC à Paris en 2003. Cet ensemble présente l'avantage de pouvoir réaliser des essais dans une gamme de contraintes non couverte par les autres presses disponibles dans le réseau des LPC (LRPC de Lyon et Toulouse) et elle a été conçue pour réaliser des essais suivant les nouvelles normes européennes en vigueur. Son pilotage et son asservissement ont été réfléchis afin d'optimiser l'acquisition de mesures en phase ultime d'écrasement et de poursuivre l'analyse du comportement après la rupture (« post-rupture »). Les essais de compression peuvent être pilotés en déformations, par ordinateur, ce qui était impossible à réaliser avec le matériel précédent.

La cellule triaxiale haute-pression permet également d'effectuer des essais en conditions non drainées pour mener des recherches sur le rôle d'un fluide interstitiel dans les roches granulaires et l'influence des conditions de drainage sur les phénomènes d'endommagement modifiant les propriétés de transport d'une roche. La connaissance des interactions entre la localisation des déformations, l'endommagement et l'évolution de la perméabilité est un enjeu important pour beaucoup d'applications.

Par ailleurs, dans le cadre du GIS GEMAUN, Groupement d'Intérêt Scientifique « Géotechnique Environnementale et Maîtrise des Aléas Urbains et Naturels » rassemblant le LCPC et le LIRIGM, ce dernier a prêté à la division MSRGI une cellule-presse permettant de réaliser des essais de mécanique des roches en milieux drainés ou non, à très fort confinement (jusqu'à 200 MPa). Cet équipement est complémentaire des dispositifs développés dans le réseau des LPC, il permettra d'atteindre des niveaux de contraintes importants correspondant aux profondeurs de nucléation et de déclenchement des séismes. Peu de systèmes en Europe atteignent de tels confinements. Cet équipement constitue donc un atout pour répondre aux futurs appels d'offres européens et internationaux.

2.3.2. Essais de laboratoire pour caractériser le comportement des roches

De 2001 à 2004, les principales recherches effectuées avec le matériel du laboratoire de Mécanique des roches ont été les suivantes :

- programmes expérimentaux relatifs à la mise au point de normes et méthodes d'essai et à l'étude de la dispersion des résultats (vitesse ultrasonique sur éprouvettes notamment, 2001). Ces recherches ont été suscitées par la nouvelle Commission de Normalisation des essais de Mécanique des roches (CNROC, 2001) ;

- essais de fluage et de rupture différée sur des roches telles que le gypse, le calcaire grossier et les marnes. Ces expérimentations ont été menées en liaison avec les études sur les carrières souterraines abandonnées (2002). Les essais ont montré qu'une roche comme le gypse (la pierre à plâtre de Paris) subit un fluage important, sa résistance à long terme étant de l'ordre du tiers de sa résistance instantanée, ce qui explique les désordres constatés aujourd'hui dans d'anciennes carrières de la région parisienne ;
- effet d'échelle dans les essais de micro-indentation sur les roches, évolutions de la microstructure d'une roche granulaire à l'intérieur d'une zone de localisation des déformations (thèse de B. Ammiar, 2003 ; collaboration CERMES-MSRGI) ;
- étude de la localisation de la rupture dans le grès de Fontainebleau, sous sollicitation triaxiale (thèse de H. Ouffroukh, 2004 ; collaboration CERMES-MSRGI) ;
- localisation des discontinuités dans les failles rocheuses, effet de la température sur le comportement mécanique d'argiles profondes prélevées à 760 m dans le rift de Corinthe (thèse de P. Lazar, collaboration CERMES-MSRGI).

Il est à noter que les corps d'épreuve issus de ces essais sont systématiquement observés en microscopie (optique ou électronique) pour comprendre les phénomènes se produisant à petite échelle dans les bandes de cisaillement.

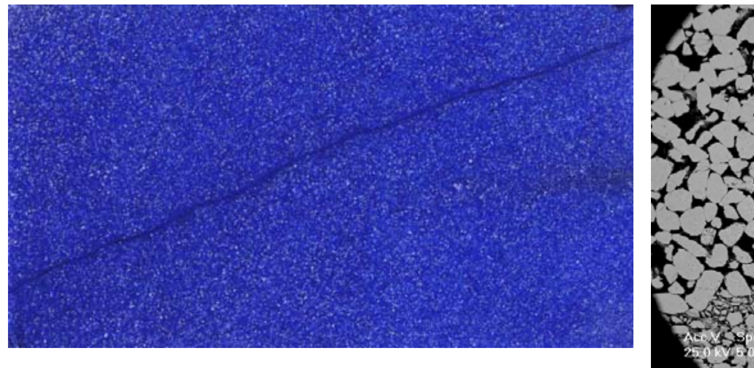
Depuis le début de la collaboration CERMES-MSRGI, quatre doctorants du CERMES ont été accueillis au Laboratoire de Mécanique des roches de la division MSRGI. Les matériels acquis en 2003 ont offert de nouvelles perspectives à ces recherches.

2.3.3. Caractérisation mécanique et microstructurale de la rupture des roches

L'objectif de la thèse de H. Ouffroukh, soutenue le 1er octobre 2004, a été de comprendre le comportement géomécanique d'une roche relativement simple. Pour cela, des essais ont été menés sur le grès de Fontainebleau. Cette roche a été choisie pour son homogénéité et sa mono-minéralité ; la taille et la forme standard de ses grains étant un gage de répétabilité des essais. Sa porosité est de 21%. Ces essais ont été réalisés en conditions drainées et non drainées à des pressions de confinement comprises entre 7 et 50 MPa. Les bandes de cisaillement, qui peuvent apparaître toutes semblables à l'échelle macroscopique (Figure 32), ont des textures très différentes à l'échelle microscopique en fonction des mécanismes de déformation dominants (Figure 33).

Des observations au microscope électronique à balayage ont été effectuées sur les différents échantillons en comparant les zones faiblement affectées (en périphérie) et les bandes de cisaillement formées dans le cas d'essais triaxiaux drainés et non drainés.

Les images obtenues ont été étudiées au moyen d'un logiciel d'analyse d'images afin de caractériser les modifications de la géométrie de la microstructure dans les zones « non affectées » et dans les bandes de cisaillement, au travers de l'évolution de la porosité, de la surface spécifique et de la taille des grains (Figures 34 et 35). Les profils de porosité tracés pour chaque confinement ont montré que, pour des échantillons comprimés sous des confinements de 7 et 14 MPa, les bandes de cisaillement sont des zones de plus forte porosité (entre 24 et 30 %) ; ce qui indique un mécanisme de dilatance. Pour les échantillons comprimés sous des confinements de 28, 40 et 50 MPa, les bandes de cisaillement sont au contraire des zones de plus faible porosité (entre 9 et 17 %) : ce sont des bandes contractantes. Ces résultats mettent en évidence l'influence de la pression de confinement sur les mécanismes de déformation qui se produisent à l'échelle du grain.



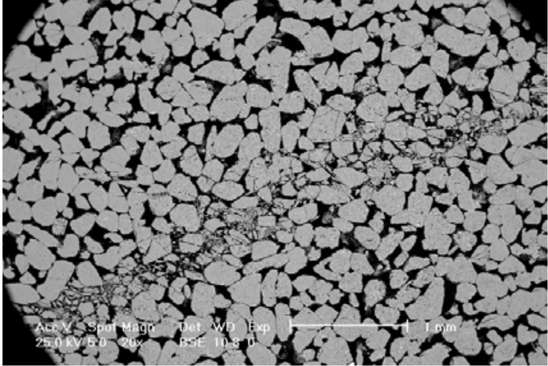


Figure 32. Échelle macroscopique d’une bande de cisaillement après un essai triaxial (la couleur bleue est due à la résine d’imprégnation)

Figure 33. Échelle microscopique d’une bande de cisaillement (vue au MEB x 20)

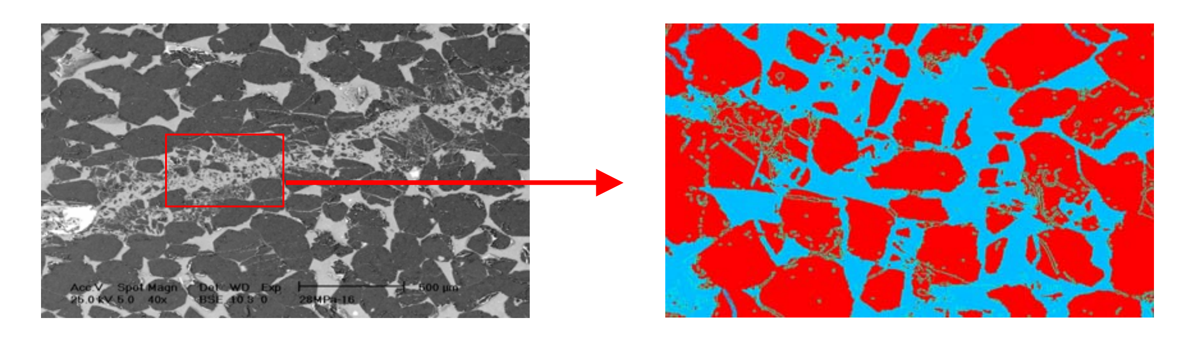


Figure 34. Vue au MEB d’un détail dans la bande de cisaillement

Figure 35. Zoom sur la bande de cisaillement

Ces observations ont montré une augmentation de la porosité sous faible pression de confinement avec une augmentation de la surface spécifique d’autant plus prononcée que la pression de confinement est élevée. Tous les essais et les observations micro-structurales ont été réalisés au sein de la division MSRGI.

2.3.4. Fissuration et perméabilité

Le couplage entre la fissuration et la perméabilité des roches suscite beaucoup d’intérêt pour les problèmes de stockage de déchets radioactifs (A. Pouya). L’objectif du travail de thèse de K. Maleki était d’élaborer un modèle de couplage entre l’endommagement et la perméabilité des argiles raides à partir de simulations numériques. À l’aide d’outils numériques adaptés, des domaines comportant une distribution de fissures sont générés et leurs tenseurs d’endommagement et de perméabilité moyenne sont calculés. Les relations entre ces deux tenseurs ont permis d’établir un modèle de couplage. Celui-ci a été implanté dans le logiciel CESAR-LCPC et appliqué à l’étude de l’évolution des champs mécaniques et hydrauliques autour des ouvrages de stockage de déchets radioactifs. Cette thèse a été réalisée en collaboration avec l’École Polytechnique (LMS/G3S) et le LMSGC et soutenue le 5 mars 2004.

En 2004, des contacts ont été pris avec la société TOTAL pour mener une recherche sur la stabilité des forages profonds et leur capacité à être utilisés pour réinjecter du gaz H_2S (voire CO_2) dans des cavités pétrolifères abandonnées. Un partenariat a été établi entre TOTAL, le CERMES et la division MSRGI (via l’Institut Navier) pour l’étude expérimentale sous forte pression du comportement des

roches profondes et du coulis de ciment qui entoure les forages. L'influence de la fissuration sur la perméabilité au gaz sera aussi étudiée finement. La société TOTAL financera la thèse à 50%. Les recherches utiliseront le matériel d'essais de la division MSRGI et notamment les essais à haute pression.

2.3.5. Modélisation du comportement des roches fracturées

L'anisotropie du comportement des roches a fait l'objet de nombreuses études expérimentales et est prise en compte dans la modélisation de différents phénomènes (ondes sismiques, fissuration des roches, etc.). On manque cependant de lignes directrices dans la modélisation des données expérimentales et en particulier des modèles d'élasticité anisotrope à faible nombre de paramètres permettant d'ajuster ces données. L'objectif est de proposer de tels modèles d'élasticité en 2005.

Dans le cadre d'une collaboration avec le CGI, A. Pouya dirige une thèse ayant pour objectif la détermination des caractéristiques mécaniques à grande échelle des massifs rocheux fracturés par une méthode d'homogénéisation numérique (thèse de M. Chalhoub, soutenance prévue en 2005).

On rappelle également que F. Rojat a entamé en 2004 une thèse au LRPC de Toulouse (collaboration LR Toulouse-MSRGI-EPFL). Les recherches ont pour objectif de simuler le comportement des roches très fissurées (ou broyées) par une approche de type élastoplastique et élastique non linéaire. Ces travaux sont à la fois expérimentaux, théoriques et numériques. Une confrontation des résultats d'un modèle numérique avec des mesures sur ouvrages est également envisagée.

2.3.6. Influence de la température sur les propriétés des roches et argiles profondes

Dans le cadre du projet Européen Dglab Corinth, des matériaux ont été remontés de la faille d'Aigion (Grèce), issus d'un forage pratiqué jusqu'à plus de 1000 m de profondeur en 2002. Afin de mieux étudier les argiles remplissant la gouge de faille, la cellule triaxiale de Mécanique des roches a été équipée d'un dispositif de montée en température visant à simuler les effets de dilatation thermique régnant à ces profondeurs. La thèse de P. Lazar, commencée en septembre 2003 (collaboration CERMES-MSRGI), a comme objectif de caractériser ce matériau en prenant en compte le paramètre température. Le dispositif installé permet de chauffer l'échantillon, de façon la plus homogène possible, et d'atteindre une température de l'échantillon proche de 80°C.

3. Ouvrages géotechniques complexes et géotechnique en milieu urbain

La troisième orientation des activités de la division MSRGI concerne les ouvrages géotechniques considérés comme complexes, en raison des sollicitations qu'ils font subir au sol ou en raison de leur géométrie. Les ouvrages urbains combinent souvent ces deux caractéristiques.

3.1. Fondations spéciales et essais sur ouvrages

Chercheurs : Michel Bustamante (→2004), Serge Borel (→2003), Frédéric Rocher-Lacoste (2002→), Philippe Reiffsteck

Opération : « Fondations et interactions sol-structures » (2002-2005)
Opération : « Diagnostic et réparation des ouvrages » (2002-2005)

La division MSRGI dispose d'une équipe (M. Bustamante, S. Borel, B. Doix, L. Gianeselli, F. Rocher-Lacoste, S. Mascles) qui travaille principalement dans le domaine des fondations profondes pour les ouvrages d'art (terrestres et maritimes) et les édifices à caractère historique. Cette équipe intervient sur des ouvrages neufs, pour proposer une technique de fondation adaptée aux contraintes du projet (impératifs économiques, environnement), ou sur des ouvrages anciens, pour le diagnostic des fondations existantes et la mise au point de solutions de confortement et de réhabilitation. Elle réalise de manière régulière des expertises, en s'appuyant sur les compétences de ses ingénieurs et chercheurs, et sur la mise en œuvre de moyens d'essais propres, notamment les extensomètres amovibles développés par les LPC depuis 30 ans. Cette technique de mesure, unique en Europe, permet lors d'essais de chargement en vraie grandeur d'établir les lois de mobilisation des efforts réels au sein de la fondation. Les données acquises lors de ses expertises servent également à la recherche sur la caractérisation des interactions sol-structures et sont à la base du développement et de la validation de méthodes de calcul, plus ou moins complexes. La recherche tire abondamment partie de ces expérimentations in situ que le LCPC serait incapable de financer seul. Une autre retombée essentielle est que les méthodes mises au point au cours des recherches sont ensuite introduites dans les normes françaises pour le calcul des fondations.

Pour la période 2001-2004, l'expertise de l'équipe a été sollicitée par :

- des Maîtres d'Œuvre publics (Mairies, Conseils généraux, DDE, Essonne Aménagement, RATP) ;
- des bureaux d'études (le bureau d'ingénierie internationale Louis Berger, le Fonds Européen de Développement, l'Agence Française du Développement, le bureau d'études belge Tucrail, INGEROP, ANTEA) ;
- des entreprises générales ou spécialisées en fondations profondes (Keller, Franki Fondations, Lesseps Fondation, Vinci, CIMESA, Sotraisol, Solétanche Bachy) ;
- des Laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées, pour une assistance ponctuelle lors des difficultés rencontrées dans leurs projets.

L'équipe intervient également dans le cadre de conventions de recherche avec des entreprises ou de projets nationaux (FOREVER, Vibrofonçage). Les essais constituent une connaissance capitalisée pour servir de base au développement de méthodes de calcul utilisables par l'ingénieur.

3.1.1. Essais en vraie grandeur

Au cours de la période 2001-2004, l'équipe a réalisé un grand nombre d'essais de chargement instrumentés.

- Des essais de chargement ont été réalisés sur trois pieux vissés moulés dans des graves, pour le chantier TGV à Londres (entreprise Botte Sade).

- Douze essais de chargement statique ont été effectués sur un plot expérimental de pieux à refoulement variable (Port Autonome du Havre).

- L'étude du comportement des pieux refoulants a été poursuivie sur les chantiers d'Anglet et Montivilliers (2 essais).

- Un autre plot expérimental sur des pieux refoulants vissés moulés, comprenant quatre essais de chargement statique, complété par des reconnaissances de sols, a également été réalisé à l'occasion de la construction de la station d'épuration de Cambrai.

- D'autres essais ont été réalisés pour valider les solutions de fondations retenues pour les viaducs TGV belges de Batice et José (3 essais) et de Ruyff (1 essai sur pieu foré avec un H battu et enrobé de béton), pour le viaduc d'accès du pont de Rion Antirion (3 essais) et centrale de Porto Tolle en Italie (1 essai).

- Deux pieux forés dans les marnes du Toarcien ont fait l'objet d'essais de chargement.

- Des essais de comparaison des performances de pieux préfabriqués béton battus et de pieux réalisés à la tarière continue ont été conduits au Mexique sur le site de la raffinerie PEMEX de Minatitlan. Ils avaient pour but de vérifier la faisabilité de la technique des pieux Starsol au Mexique. Huit essais de chargement statique verticaux et quatre essais horizontaux ont été effectués.

- L'étude de la portance de micropieux de grande longueur a été poursuivie grâce aux chantiers du centre commercial de Marseille Grand Littoral (micro-pieu de 52 m de longueur et 168 mm de diamètre) et du viaduc SNCF d'Argenteuil (37 m de longueur et 180 mm de diamètre).

- Des essais de chargement ont également été effectués sur des boulons injectés par du coulis de ciment ou de la résine pour la DDE du Var, dans le cadre du projet de doublement du tunnel de Toulon.

- La technique du vibrofonçage, potentiellement très intéressante en milieu urbain (dans la mesure où elle évite certaines des nuisances dues à d'autres procédés, comme le battage), a donné lieu à différents essais dans le cadre du Projet National « Vibrofonçage » de l'IREX et d'un projet de recherche avec la société Profil Arbed. La division MSRGI a participé à l'élaboration du cahier des charges pour les deux plots d'essais expérimentaux, situés sur le site de Merville, dans le département du Nord (S. Borel, F. Rocher-Lacoste). Le programme comportait la mise en place de 19 pieux et profilés métalliques, pour lesquels les principaux paramètres d'installation (vibrations, contraintes, accélérations, puissance des équipements, etc.) ont été mesurés. Huit essais de chargement statique ont été réalisés au printemps 2003. Les résultats constituent une première base pour évaluer la portance de fondations vibrofoncées, comparée à celles de palplanches ou de pieux battus.

Un exemple d'étude combinant une approche expérimentale et une approche numérique est présenté sur la page suivante (Figures 36 à 39).

Les fondations du 2ème pont ferroviaire d'Argenteuil

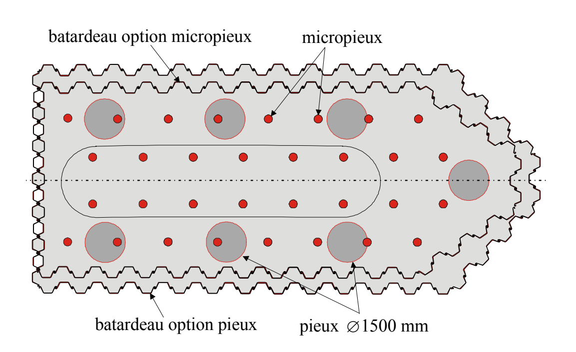


Figure 36. Emprise des batardeaux montrant la solution pieux et micropieux (pré-dimensionnement avec 32 micropieux).

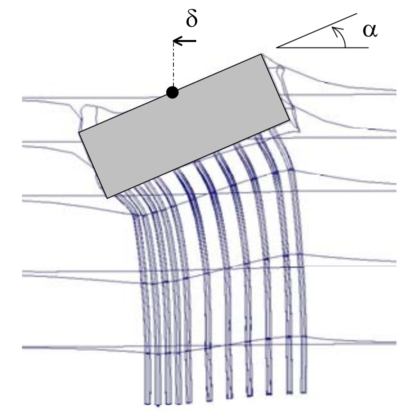


Figure 37. Déformée de la semelle avec 28 micropieux sous l'effet du choc d'une barge (sollicitation de type ELU accidentel). Calcul réalisé avec CESAR-LCPC (modélisation 3D)



Figure 38. Dispositif d'essai pour le chargement d'un micropieu



Figure 39. Vue des travaux d'installation des micropieux à partir du batardeau de la pile P2 (octobre 2004). On note la proximité de l'ancien pont de 1864.

L'amélioration des dessertes ferroviaires de la région parisienne a conduit la SNCF à envisager la construction d'un second pont sur la Seine à Argenteuil. Cet ouvrage d'une longueur de 194 m a été implanté à proximité immédiate du pont construit par Haussmann en 1864 lequel a subi de graves dommages par faits de guerre en 1870, 1940 et 1944. Le tracé du nouvel ouvrage intéresse les Marnes et Caillasses et les Gypses de la région parisienne, bien connus pour des risques de décompressions, dissolutions ou même karsts. La proximité immédiate de l'ouvrage ancien, la présence de ces formations à risques et les sujétions de la navigation sur la Seine ont conduit à retenir pour les fondations une solution avec des micropieux à très haute portance (Figure 36).

Pour le dimensionnement, c'est l'estimation des déplacements de la pile sous le choc d'une barge qui est apparue essentielle (Figure 37). Il importait de s'assurer que la raideur de la fondation au niveau des tabliers, distants de 15 cm, était suffisante pour éviter que le nouveau viaduc ne percute l'ancien. Le niveau de performance des micropieux a été validé par un essai de chargement préalable (Figure 38). Au vu des excellentes performances obtenues, le nombre de micropieux par pile a été ramené à 28 au lieu de 32, et les longueurs sous la semelle réduites.

En janvier 2005, les fondations de deux piles étaient terminées. Le choix des micropieux de très haute portance s'est avéré judicieux et s'est traduit par : une réduction de l'emprise du batardeau ; un recours à des équipements de forage légers ; une élimination des risques de soutirage et décompression des sols près des appuis de l'ancien pont ; une possibilité de reconnaissance de la totalité de l'emprise des appuis grâce aux forages destinés aux micropieux, avec possibilité de confortement des vides et horizons « suspects » par injection et la simplification des travaux, car il devenait possible de forer et d'injecter à partir des plates-formes installées sur les batardeaux (Figure 39).

3.1.2. Développement de méthodes de calcul pour le dimensionnement des ouvrages

L'importante activité expérimentale sur les fondations profondes ou spéciales est valorisée par l'utilisation des résultats pour le développement de méthodes de calcul. La collecte de résultats d'essais de chargement a donné lieu, depuis de nombreuses années, à la constitution d'une base de données unique au monde (plus de 450 essais) qui a servi à justifier les méthodes de calcul réglementaires (fascicule 62-titre V).

En 2002, un important travail de ré-analyse de ces données a été mené dans le cadre des travaux de la Commission de Normalisation « Justification des Ouvrages Géotechniques », à l'occasion de la préparation du Document d'Application National de l'Eurocode 7. Ce travail avait pour but de valider et de faire évoluer les méthodes de calcul des règlements français. Cette ré-analyse est aujourd'hui achevée. Il reste à finaliser les publications nationales et internationales, en liaison avec la commission de normalisation correspondante.

Les activités expérimentales de la division permettent de faire évoluer les règles de dimensionnement et d'aborder des aspects qui sortent du champ couvert par les règlements actuels, comme par exemple :
- les fondations mixtes sous charge oblique. S'appuyant sur des données recueillies sur chantier, S. Borel a proposé une méthode simple pour dimensionner ces fondations sous chargement oblique, (thèse de S. Borel soutenue en 2001) ;
- la prise en compte des nouvelles technologies. M. Bustamante a ainsi proposé une nouvelle méthode de calcul pour les pieux vissés ;
- des contextes géotechniques particuliers encore absents des règlements existants.

3.1.3. Diagnostic et réparation des ouvrages

L'activité de la division dans ce domaine comporte deux aspects : l'étude des techniques de réparation par amélioration des sols, notamment le jet grouting, et le diagnostic de l'état actuel des ouvrages en vue de la modification de leur usage.

Pour la réparation par amélioration des sols, une méthode a été mise au point en 2002 pour calculer la portance d'une colonne isolée de jet-grouting, sollicitée verticalement à la compression ou à l'arrachement. Cette méthode repose sur des essais en vraie grandeur réalisés par le LCPC et d'autres auteurs. Des essais de validation complémentaires seront réalisés en fonction des opportunités fournies par les expertises.

D'autres travaux concernent le diagnostic de l'état des ouvrages en vue de leur adaptation à un nouvel usage : il s'agit en particulier de prévoir les déformations à long terme des sols argileux compressibles sous l'effet des charges apportées par des remblais routiers et ferroviaires. La problématique sous-jacente est celle de l'adaptation des autoroutes à la croissance de la circulation et de l'adjonction de nouvelles voies aux autoroutes existantes (thèse de L. Ghozali, commencée en 2002). La recherche comprend, d'une part, la mise au point et la validation d'une loi de fluage et d'un modèle de vieillissement dans CESAR-LCPC et, d'autre part, des analyses d'essais de laboratoire et d'observations faites sur des ouvrages réels. Deux sondages carottés de 10 m ont été réalisés à Cubzac-les-Ponts pour prélever le matériau de référence du programme expérimental. En 2004, des développements informatiques ont été réalisés dans CESAR-LCPC et les matériaux prélevés ont fait l'objet d'essais de caractérisation physique et d'essais oedométriques. Des essais triaxiaux suivant différents chemins de contrainte sont en cours pour valider la loi de comportement et vérifier la programmation réalisée.

Dans le cadre du GIS GEMAUN entre le LCPC et le LIRIGM, une coopération se poursuit à propos du comportement au fluage de sites de stockage de déchets (thèse de J. Fourmont, LIRIGM). Ce travail comporte une partie numérique (CESAR-LCPC) et une partie expérimentale en laboratoire sur une cellule œdométrique spéciale de 1 m de côté et sur site à Chatuzange-le-Goubet dans la Drôme.

3.2. Géotechnique urbaine

Chercheurs : Emmanuel Bourgeois, Philippe Mestat, Niculai Droniuc

Opération « Effets des travaux sur le patrimoine urbain » (2001-2004)

Les progrès des techniques de construction permettent une utilisation de plus en plus intense de l'espace et du sous-sol urbains, avec la superposition et l'imbrication d'ouvrages divers, correspondant à des fonctions variées. Cette densification apporte des avantages économiques et sociaux importants, mais son coût est élevé, en raison des contraintes spécifiques au milieu urbain, en particulier la nécessité de limiter les impacts des travaux sur les ouvrages existants. Ce coût justifie que l'on cherche à améliorer les méthodes de conception des ouvrages afin de mieux prendre en compte les spécificités du milieu urbain.

Les méthodes de conception et de dimensionnement, pour la plupart issues de l'expérience acquise sur des ouvrages isolés, reposent le plus souvent sur une analyse de la résistance des ouvrages vis-à-vis de la rupture. En revanche, l'analyse du comportement des ouvrages en service reste limitée à certains types d'ouvrages (comme les soutènements) et manque de précision. Il en résulte que les impacts de la mise en place d'un ouvrage sur les structures qui l'entourent (les déplacements provoqués par le creusement d'un tunnel ou la réalisation d'un soutènement d'excavation par exemple) sont à l'heure actuelle difficiles à quantifier.

Une opération de recherche a été consacrée à cette problématique entre 2001 et 2004, dans laquelle la division MSRGI a été fortement impliquée. Une part importante du travail effectué a consisté à réaliser des instrumentations pour observer le comportement réel des ouvrages et leurs impacts sur les ouvrages voisins. Sur le plan méthodologique, cette démarche met en évidence les problèmes posés par la définition d'une instrumentation, qui doit prendre en compte les contraintes du chantier (planning, encombrement, continuité de l'accès aux instruments de mesure), l'utilisation des mesures au cours des travaux, ainsi que les limites actuelles des procédés et des appareils disponibles (sensibilité, précision, conditions de mise en œuvre, coûts du matériel et du personnel).

Parmi les instrumentations les plus marquantes, on peut citer l'instrumentation de la paroi moulée du projet « Port 2000 », réalisée en partenariat avec le CETE Normandie Centre, la société Solétanche-Bachy et le Port Autonome du Havre : le travail a consisté en un suivi, pour toutes les phases du processus de construction assez complexe de l'ouvrage, des déformations d'un panneau et des niveaux de nappe des deux côtés de la paroi (thèse de S. Marten). Ce type d'instrumentation constitue une base précieuse pour juger des performances des modélisations (par éléments finis notamment). D'une manière plus générale, une réflexion a été menée sur l'instrumentation des ouvrages (objectifs, moyens nécessaires, qualité des résultats et interprétation).

Une autre partie importante des activités de l'opération concerne précisément l'amélioration des méthodes de calcul (en termes de performances et de simplicité de mise en œuvre). Elle combine plusieurs volets :

- l'étude en laboratoire et in situ de la rhéologie des sols urbains sous des sollicitations complexes représentatives des chargements subis par les sols au cours de la construction et de la vie des ouvrages ;

- la modélisation physique des déformations et des interactions des sols et des ouvrages, en reproduisant à une échelle réduite l'ensemble de l'ouvrage (avec la centrifugeuse de la division RMS à Nantes) ou une partie seulement de l'ouvrage, avec l'appareil de cisaillement simple annulaire du CERMES ;

- l'utilisation de méthodes d'estimation des effets des travaux reposant sur des corrélations ou sur le calage des paramètres de formules d'origine empirique ou théorique ;

- la modélisation numérique d'ouvrages, notamment par éléments finis, qui permet de quantifier l'influence sur le comportement des ouvrages des caractéristiques des terrains, de certains phénomènes (le couplage hydromécanique par exemple), des effets géométriques tridimensionnels (qui peuvent être prépondérants pour des ouvrages réels complexes ou en interaction avec d'autres ouvrages).

Parmi les modélisations numériques qui ont été effectuées, on peut citer :
- l'analyse des tassements provoqués par le creusement d'un tunnel par la méthode du prédécoupage mécanique (en lien avec l'analyse, effectuée par le Laboratoire régional d'Aix en Provence, des tassements mesurés sur le chantier de la Traversée Souterraine de Toulon, E. Bourgeois) ;
- la modélisation des déplacements latéraux mesurés lors de la construction d'un remblai de la rocade d'Harfleur qui avait été renforcé par un nombre variable de files de pieux (S. Borel, E. Bourgeois ; figure 40) ;
- l'influence des effets tridimensionnels sur les déformations de la Trémie Pasteur de Rouen (ouvrage qui avait été instrumenté en collaboration avec Solétanche-Bachy) (thèse de Nguyen P.D., figure 41) ;
- l'étude de la réduction de la capacité portante d'une semelle de fondation rectangulaire due à la proximité de deux talus (N. Droniuc, figure 42) ;
- l'étude des facteurs permettant d'expliquer les déformations dissymétriques mesurées sur une paroi moulée circulaire à Nantes (E. Bourgeois, figure 43).

Plus particulièrement, l'instrumentation du remblai d'Harfleur sur inclusions rigides a été l'occasion de réaliser une prévision de classe A, avant que le remblai ne soit construit. Un modèle tridimensionnel d'éléments finis a été élaboré en 2002. Les résultats obtenus se sont avérés en assez bonne concordance avec les mesures effectuées plus tard, néanmoins les calculs sous-estimaient l'effet favorable des inclusions. En 2003, de nouveaux calculs ont été réalisés pour analyser ces effets, en bénéficiant notamment d'une campagne de reconnaissance et d'essais de laboratoire complémentaires. La modification des valeurs des paramètres mécaniques a permis d'améliorer les résultats numériques (Figure 40). Des conclusions ont été tirées sur le dimensionnement de ce type d'ouvrage, et en particulier l'influence des inclusions rigides sur les déplacements du sol au voisinage du remblai.

On notera une fois encore le souci constant de la division MSRGI de confronter les simulations numériques à des cas réels pour lesquels on dispose de résultats d'instrumentation, cette confrontation étant en dernier ressort le seul moyen de s'assurer que les résultats numériques représentent bien le comportement réel des ouvrages.

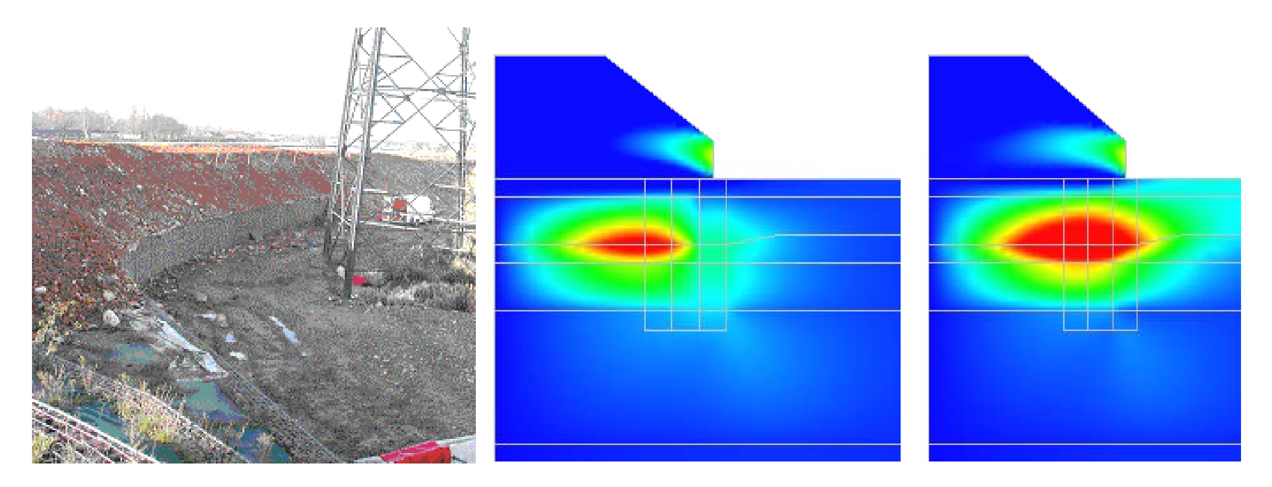


Figure 40. Comparaison des déplacements horizontaux calculés selon le modèle utilisé pour prendre en compte les pieux (à gauche, photo du chantier ; au milieu : modèle isotrope avec modules équivalents ; à droite, prise en compte de l'anisotropie induite par les pieux dans la direction verticale. Les couleurs correspondent aux déplacements horizontaux, l'échelle étant la même).

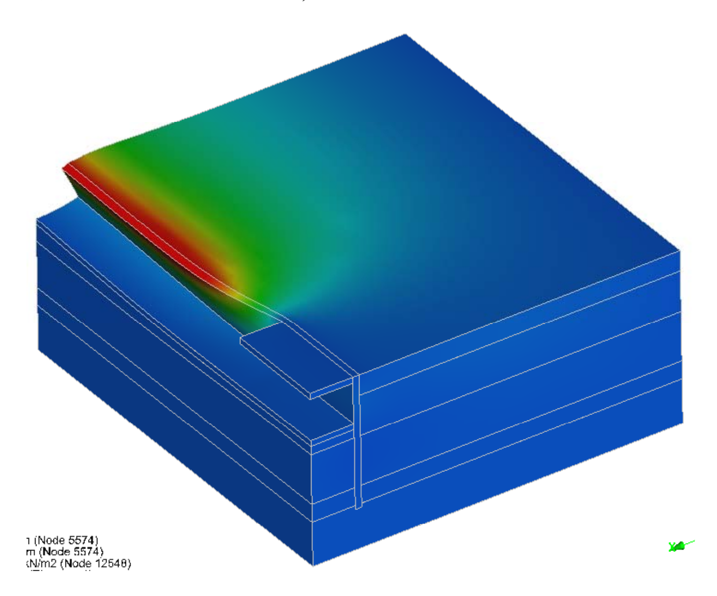


Figure 41. Prise en compte des effets géométriques tridimensionnels (variation de la profondeur de la chaussée et blocage de la tête de la paroi en partie centrale par la dalle de couverture) dans les déformations de la Trémie Pasteur de Rouen. Les couleurs représentent les isovaleurs des déplacements horizontaux.

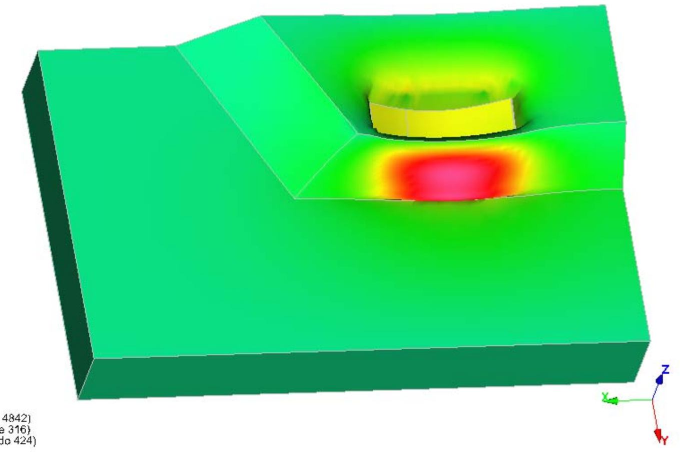


Figure 42. Recherche de la capacité portante d'une fondation à proximité de deux talus. Les couleurs représentent les isovaleurs des déplacements horizontaux.



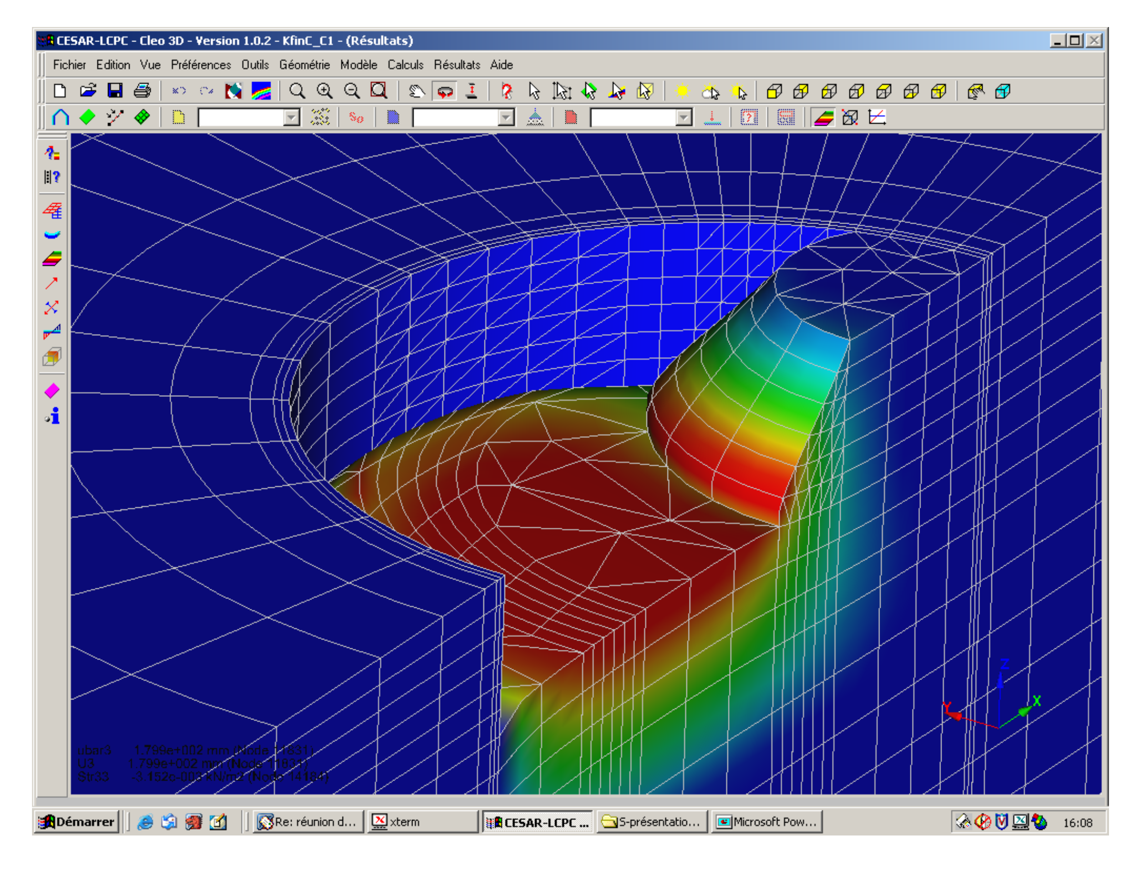


Figure 43. Etude des mécanismes de déformation d'une paroi circulaire à Nantes : en haut photo Solétanche-Bachy ; en bas calcul CESAR-LCPC

3.3. Modélisation numérique par éléments finis

Chercheurs : Emmanuel Bourgeois, Philippe Mestat, Niculai Droniuc

Projet CLEO (2000-2002)
Opération : « Modélisation numérique et physique du comportement des sols et des roches » (2001-2004)
Opération : « Propriétés des matériaux hétérogènes » (2001-2004)
Opération : « Effets des travaux sur le patrimoine urbain » (2001-2004)
Opération : « Sols gonflants » (1998-2002)
Opération : « Terrassements » (2003-2006)
Opération : « CESAR-LCPC : amélioration des performances et développements métier » (2005-2008)
Opération : « Risque rocheux » (2004-2008)

Les recherches effectuées sur la période 2001-2004 ont concerné des études de base en modélisation par éléments finis, des applications aux ouvrages (validation des outils de calcul : fondations, soutènements, tunnels), le développement d'une base de données liée aux confrontations calculs-mesures sur ouvrages en vraie grandeur (base de données MOMIS) et la rédaction de conseils et recommandations à destination des praticiens de la modélisation numérique.

La longue liste des opérations de recherche concernées par la modélisation montre l'importance de celle-ci, mais aussi à quel point le logiciel CESAR-LCPC est devenu un outil de valorisation, de capitalisation et de transmission des connaissances au sein du LCPC (et au sein de la division MSRGI).

On présente ici de manière plus détaillée les développements effectués dans CESAR-LCPC au cours des quatre dernières années, le travail réalisé pour la validation de ces développements, et notamment le développement d'une base de données liée aux confrontations calculs-mesures sur ouvrages en vraie grandeur (base de données MOMIS).

3.3.1. Développements dans CESAR-LCPC

Le développement du logiciel CESAR-LCPC est piloté par la section des Modèles Numériques du LCPC, mais la division MSRGI y participe activement depuis 1985, pour ce qui concerne la Mécanique des sols et la Mécanique des roches.

Les principaux développements effectués par la division au cours des quatre dernières années sont les suivants (dans un ordre approximativement chronologique).

- L'implantation d'une loi de comportement pour les sols gonflants (élasticité non linéaire et élastoplasticité avec écrouissage), avec des applications au calcul des tunnels (thèse de F. Bultel, convention CIFRE avec Scetauroute, soutenue en 2001) ; le code correspondant a été intégré dans le référentiel de la version 4 de CESAR-LCPC.

- Des développements pour la prise en compte de forces d'écoulement dans le calcul des charges limites par la méthode cinématique régularisée (thèse de N. Droniuc, soutenue en 2001), et applications aux fondations et soutènements (le code devrait être intégré dans la version standard en 2005).

- L'implantation d'un modèle de comportement adapté aux ouvrages renforcés par des inclusions linéiques (talus cloué, renforcement par boulonnage de la paroi ou du front de taille d'un tunnel, fondations sur micropieux ou inclusions rigides). Ce travail a fait l'objet d'une collaboration

(projet CASTOR) avec la section des Modèles Numériques, le LMSGC, le Centre d'Etudes des Tunnels et la société ITECH, diffuseur du logiciel. La première partie du projet, limitée au cas de l'adhérence parfaite entre le sol et les inclusions, a abouti à une version de CESAR-LCPC compatible avec les interfaces graphiques CLEO2D et CLEO3D de la version 4 de CESAR, et diffusée auprès des partenaires du projet (CETu, Scetauroute, Simecsol). Des développements plus récents permettent d'utiliser les méthodes d'accélération de convergence, ce qui améliore très nettement les performances de calcul (ces développements sont encore en version recherche). Le projet initial comportait une seconde partie concernant la prise en compte du glissement entre le sol et les inclusions. L'introduction de ce modèle plus complexe dans CESAR-LCPC a fait l'objet d'un rapport préliminaire décrivant les opérations de programmation nécessaires, mais les développements correspondants ont été repoussés.

- Des actions ponctuelles de maintenance corrective et de sécurisation des algorithmes de résolution : correction de la programmation du modèle de Hoek et Brown (reportée dans le référentiel), de l'enchaînement des calculs hydromécaniques couplés pour les sols saturés (modifications apportées par Nguyen P. D. au cours de sa thèse). Un des objectifs a été d'affiner la prise en compte des situations de construction complexes en présence d'eau dans les modèles numériques, notamment pour ce qui concerne les effets liés aux variations de pression interstitielle autour des ouvrages lors de l'excavation et au rôle des ancrages.

- Le développement d'un nouveau module de calcul pour les sols non saturés (thèse de T. Kormi, soutenue en décembre 2003). La modélisation mise en œuvre repose sur l'approche en variables indépendantes et, dans un premier temps, sur le modèle élaboré par E. Alonso. L'objectif est d'appliquer cet outil numérique à la simulation du comportement d'ouvrages en terre soumis à différents types de sollicitations et, en particulier, à des infiltrations. Ce travail est effectué dans la thèse de A. Bakkari, qui a débuté en octobre 2003. Les validations sont menées sur la base d'essais à succion contrôlée réalisés au CERMES et dans la division RMS et sur des confrontations avec des instrumentations d'ouvrages et/ou des résultats de modélisation physique. En particulier, un ouvrage expérimental en semi-grandeur construit au CER de Rouen servira de base pour l'obtention de données expérimentales. Dès 2005, cette recherche sur la validation des modèles pour les sols non saturés bénéficiera également d'une coopération avec le Laboratoire de Mécanique des Sols de l'EPFL.

- L'implantation d'une loi de comportement élastoplastique non linéaire-parfaitement plastique du type de celle proposée par Fahey et Carter en 1993, d'une version du modèle Cam-Clay modifié avec élasticité non linéaire, et d'un modèle élastoplastique de type Mohr-Coulomb avec des modules élastiques et des caractéristiques de résistance variables avec la profondeur (thèse de S. Coquillay, soutenance prévue au premier semestre 2005). Le code correspondant est en version recherche.

- L'introduction d'éléments de joints, permettant de prendre en compte des discontinuités de déplacements liées à des fissures. Ce travail a été entrepris en collaboration avec la section des Modèles Numériques. La réalisation d'un outil de maillage pour les milieux fracturés, et la programmation de joints avec un comportement élastique linéaire ont été achevées en 2004. Le traitement du comportement élastoplastique est en cours (stage post-doctoral de F. Elmi).

- L'implantation de la loi de comportement de Hoek et Brown généralisée pour décrire le comportement des roches très fissurées. Ce travail a été effectué en 2004 dans le cadre de la thèse de F. Rojat (LR de Toulouse) et d'une collaboration entre la division MSRGI, le LRPC de Toulouse et le Laboratoire de Mécanique des Roches de l'EPFL (Suisse). D'autres développements numériques sont prévus en fonction de l'avancement des recherches théoriques et expérimentales en laboratoire pour les années 2005 et 2006.

Par ailleurs, des recherches ont été entreprises sur la formulation d'indicateurs d'erreur permettant d'évaluer a posteriori la qualité d'une solution numérique, sur la base de l'analyse des champs de contraintes résultant du calcul. En 2002, le stage de DEA de C. Jarkass (EUDIL) a permis de définir les bases de cette analyse. Cette recherche a été suspendue faute de temps ; elle devrait cependant reprendre en 2005.

Le progiciel CESAR-LCPC est organisé en modules de calcul. Pour ce qui concerne la géotechnique, il s'agit des modules MCNL, TCNL, CSNL, LIMI et CSNS. Seuls les modules MCNL et TCNL sont actuellement diffusés dans la version standard de CESAR-LCPC. Les autres modules sont encore dans une phase de validation et de développement. Il est en effet difficile de « figer » de telles versions car les développements de la programmation sont continuels. Ainsi, dans le cas du module MCNL, de nouvelles lois de comportement mécanique ou d'autres possibilités de calcul sont ajoutées régulièrement soit en raison des recherches propres du LCPC, soit à la demande d'utilisateurs extérieurs. Depuis 2004, le groupe de travail « CESAR-LCPC en géotechnique » fixe les priorités de développements et de valorisation dans la version diffusée par la société Itech. Le tableau 10 décrit les modules de calcul de CESAR concernés par les développements réalisés par les doctorants au cours de la période 2001-2004.

Tableau 10. Développements dans CESAR-LCPC et thèses suivies par la division MSRGI

Module de calcul	Développements sur la période (2001-2004)
Mécanique en Comportement Non Linéaire (MCNL)	Thèses de F. Bultel (2001), de S. Coquillay (2005), de I. Said (CERMES)
Consolidation des Sols saturés à comportement Non Linéaire (CSNL)	Thèses de Nguyen P.D. (2003), de L. Ghozali
Analyse limite par régularisation visco-plastique (LIMI)	Thèse de N. Droniuc (2001)
Consolidation des Sols Non Saturés (CSNS)	Thèses de T. Kormi (2003), de A. Bakkari

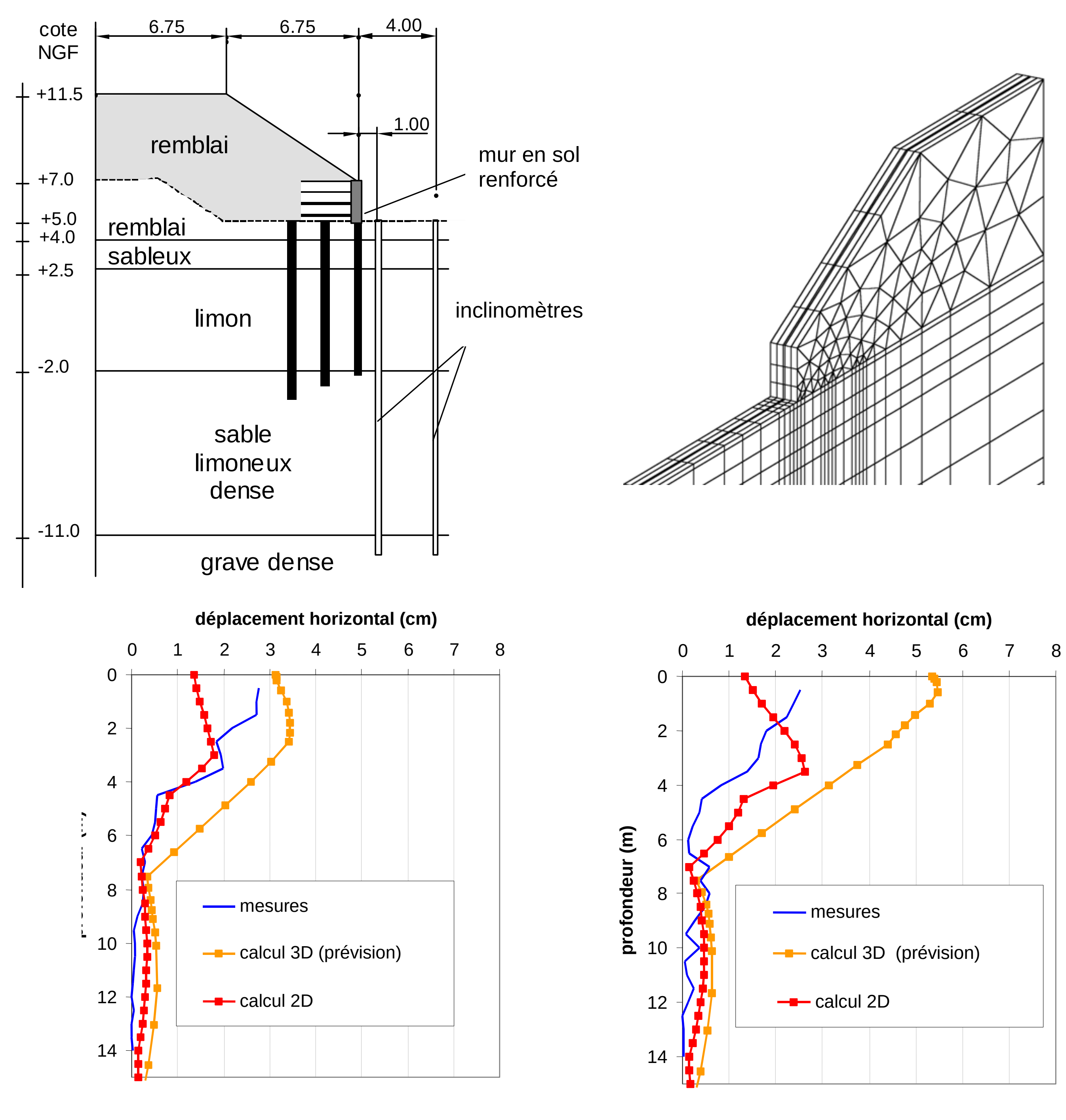
3.3.2. Validation des développements et confrontations calculs-mesures

La validation de CESAR-LCPC constitue un souci permanent de l'équipe de développement. Elle passe par :

- des tests élémentaires de la programmation (interpolation sur les éléments, calcul et assemblage des matrices de rigidité et des forces, calcul des déplacements et des contraintes, etc.) ;
- la vérification des algorithmes de résolution à l'aide de solutions théoriques connues ou, à défaut, par comparaison avec des solutions de référence publiées dans la littérature spécialisée ;
- des confrontations avec des mesures réalisées sur des ouvrages en vraie grandeur (ou, à défaut, sur des modèles réduits centrifugés).

Entre 2001 et 2004, ces confrontations ont impliqué des fondations superficielles (site de Labenne, thèse de S. Coquillay - MCNL), des fondations profondes (travaux de M. das Neves, 2001 - TCNL ; thèse de I. Said - MCNL), des fondations mixtes (S. Borel, 2001 - MCNL et TCNL), un remblai sur inclusions rigides (S. Borel, 2002 - MCNL), des ouvrages de soutènement (thèses de Nguyen P. D., S. Marten et S. Coquillay - MCNL et CSNL), un ouvrage en Terre Armée (site de Bourron-Marlotte, projet CASTOR - MCNL) et un ouvrage souterrain (tunnel de Chamoise, thèse de F. Bultel - MCNL).

Les figures 44, 45 et 46 présentent des validations de modèles numériques par rapport à des mesures, dans le cas du remblai d'Harfleur (Figure 44), des fondations superficielles de Labenne (Figure 45) et de la trémie Pasteur de Rouen (Figure 46). Les calculs numériques ont été effectués avec le logiciel CESAR-LCPC.



Comparaison calcul-mesures pour l'inclinomètre situé 4 m en avant du pied du remblai

Comparaison calcul-mesures pour l'inclinomètre situé 1 m en avant du pied du remblai

Figure 44. Remblai sur inclusions rigides de la rocade d'Harfleur.
Comparaison des calculs 3D (classe A) et 2D (a posteriori) avec les mesures.
Les résultats montrent qu'il est possible de proposer une modélisation 2D satisfaisante (Borel et Bourgeois, 2002).

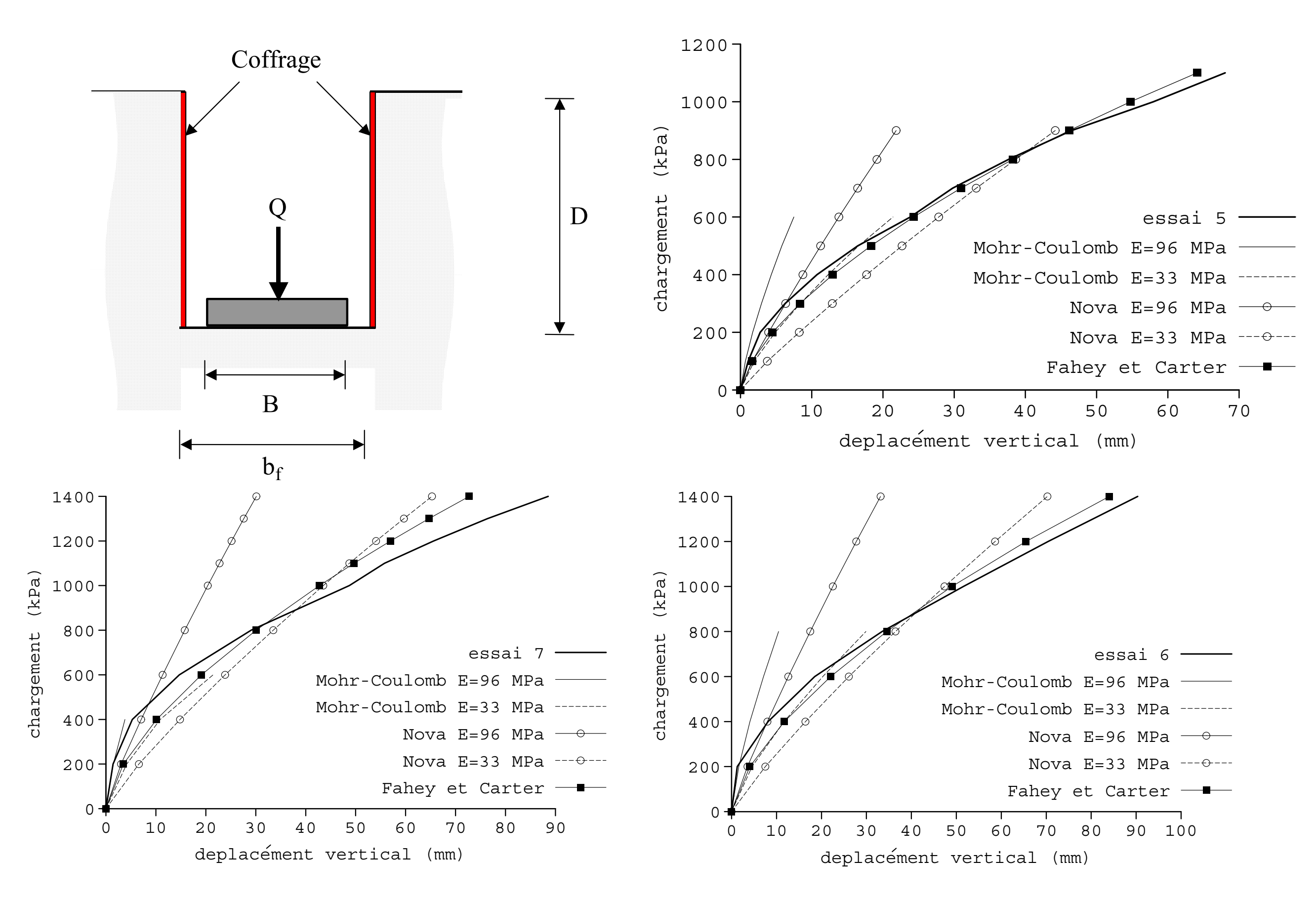


Figure 45. Simulations obtenues avec le modèle de Fahey et Carter pour une série de fondations enterrées à différentes profondeurs (expérimentations de Labenne) (thèse de S. Coquillay, 2004)

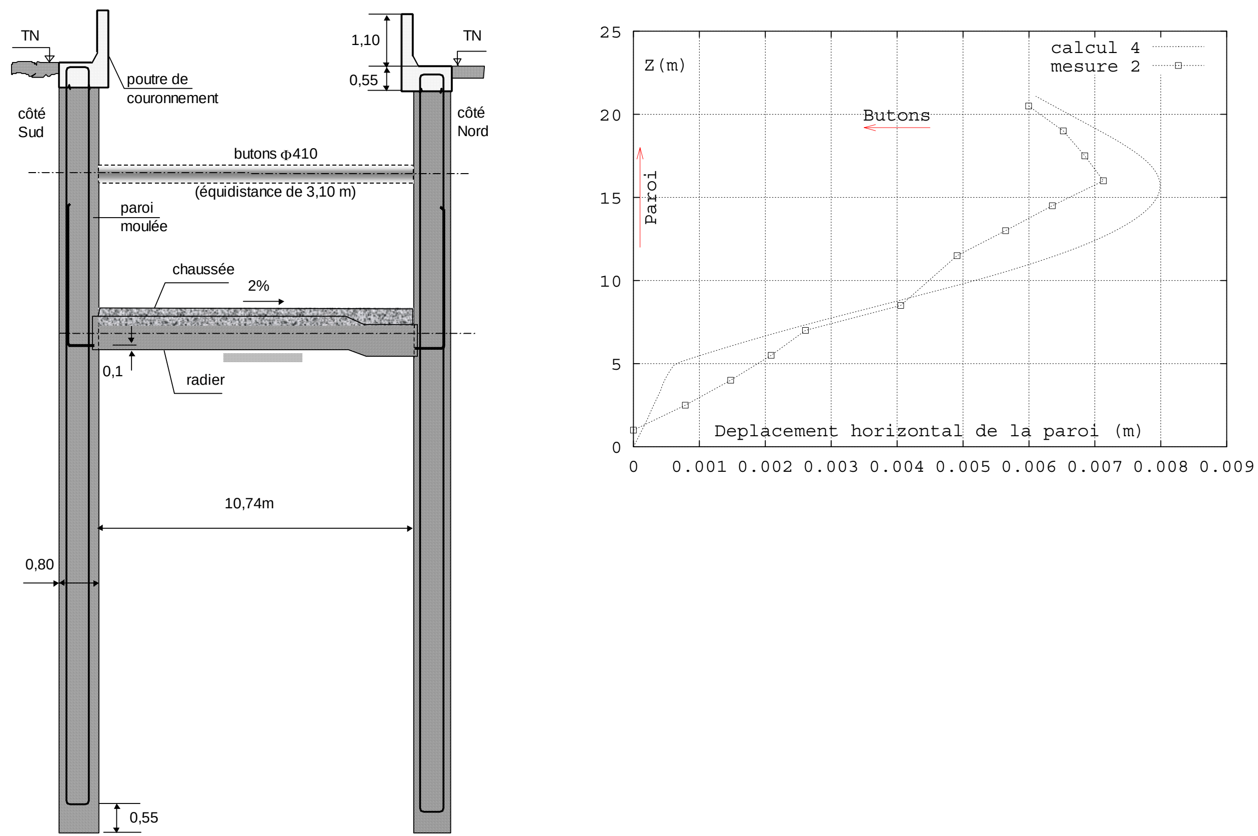


Figure 46. Comparaison calcul 3D – mesures (Trémie Pasteur de Rouen, thèse de Nguyen P.D., 2003)

3.3.3. Base de données MOMIS – comparaison calculs-mesures

Ces validations s'ajoutent aux nombreuses confrontations « calculs-mesures » publiées dans le domaine de la géotechnique depuis près de trente ans. Il est toutefois troublant qu'aucun bilan n'ait jamais été dressé sur l'écart constaté entre les modélisations numériques et les mesures effectuées sur des ouvrages en vraie grandeur. Afin de pallier ce manque de repères pour juger la capacité des lois de comportement et des logiciels à reproduire des situations complexes, la division MSRGI a entrepris une veille technologique sur ce sujet (Ph. Mestat). Une base de données bibliographiques appelée MOMIS (acronyme de « Modèle numérique d'Ouvrage et Mesures In Situ ») a été développée en collaboration avec l'Ecole Centrale de Nantes (Yvon Riou) pour recueillir et traiter les informations liées aux expérimentations de référence.

L'objectif principal est de conserver la mémoire des modélisations numériques, de tirer des enseignements sur la pratique en géotechnique, de fournir des ordres de grandeur des résultats des calculs et de quantifier l'erreur de modèle (différences entre valeurs calculées et mesurées). La base de données s'est développée de manière régulière et continue depuis 1999, et son traitement informatique a également été amélioré. Elle comporte actuellement environ 600 fiches concernant les remblais (133), les ouvrages souterrains (135), les rideaux de palpanches (66), les parois moulées (130), les réseaux de colonnes de sol amélioré (50), les fondations superficielles (60).

De nombreuses exploitations statistiques sont possibles selon le type d'analyse et de lois de comportement, de nature des terrains, de comparaison de résultats (déplacements verticaux et horizontaux à court et à long terme, pressions interstitielles, efforts dans le revêtement), de nombre de nœuds, de type d'éléments ou encore de dimensions des maillages. Dans le cas des ouvrages souterrains, la figure 47 illustre une comparaison calculs-mesures concernant la distance du point d'inflexion de la cuvette de tassement i, en section transversale.

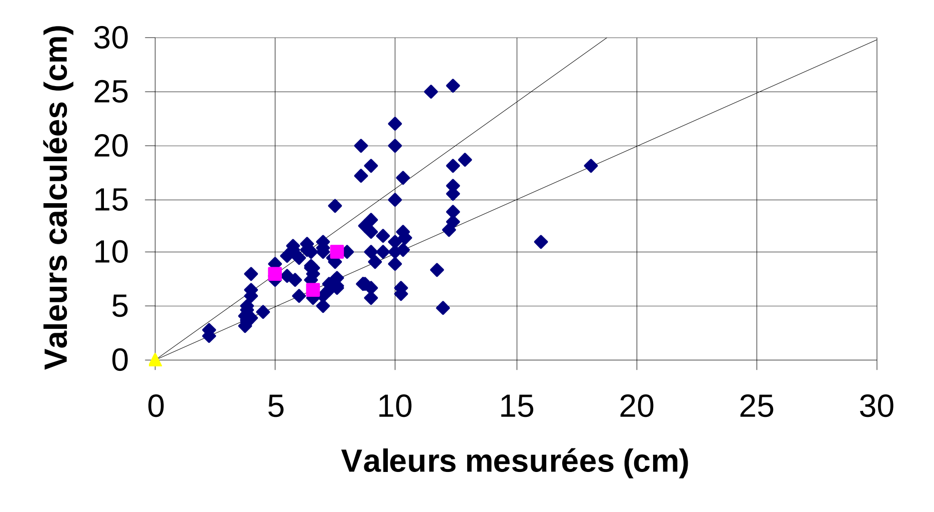


Figure 47. Comparaison calculs-mesures pour l'abscisse du point d'inflexion de la cuvette de tassement dans une section transversale de tunnel (modèles numériques 2D). Les carrés rouges représentent des prévisions de classe A (réalisés avant la construction des ouvrages) (Ph. Mestat)

La mise à disposition de la partie bibliographique sur le site web de la division MSRGI s'est poursuivie en 2004. Une version informatisée est en cours de réalisation en collaboration avec l'Ecole Centrale de Nantes (à l'aide du logiciel ACCESS).

3.3.4. Validation et concours de prévisions internationaux

Dans le même souci de valider des méthodes de calcul, la division MSRGI a proposé une série de concours de prévisions concernant divers ouvrages. Les objectifs étaient soit de comparer des logiciels entre eux, soit de comparer des méthodes de calcul entre elles, soit encore de confronter les résultats de modèles numériques avec des mesures réalisées sur des ouvrages réels.

Concours « Calculs 3D »
La division MSRGI et le Laboratoire de Génie Civil de l'Ecole Centrale de Nantes (Yvon Riou) ont entrepris plusieurs études sur la modélisation numérique tridimensionnelle de manière à mettre en garde les utilisateurs contre la difficulté de réaliser ces calculs avec les logiciels du commerce. On s'aperçoit en effet en parcourant la littérature spécialisée que l'importance de la convergence au sens du maillage semble perdue de vue aujourd'hui par nombre de modélisateurs, alors que les calculs 3D se « démocratisent ». Si, pour un modèle bidimensionnel, on arrive aisément à faire un maillage suffisamment fin pour garantir une bonne solution au sens de la convergence du maillage, il n'en est plus de même pour un modèle tridimensionnel. Dans une coupe 2D de ces maillages 3D, on trouve des densités que personne n'oserait considérer pour effectuer des calculs 2D. L'utilisateur se trouve donc relativement démuni face à l'élaboration d'un maillage 3D « raisonnable ». Cette constatation doit conduire les géotechniciens à la prudence dans l'analyse de résultats 3D et dans leur utilisation pour des dimensionnements. Cette notion de convergence au sens du maillage est importante pour les calculs 3D, et les études manquent pour l'apprécier et pour éviter certains errements. C'est la raison de l'organisation de ce concours de prévisions, qui serait le premier (à notre connaissance) à s'intéresser uniquement au 3D. Il s'agissait de prévoir le comportement tridimensionnel d'une fondation carrée en bord de talus. L'objectif n'était pas de confronter les modèles avec des mesures, mais d'analyser l'utilisation des logiciels sur un exemple. Toutes les données du concours étaient imposées (géométrie, mécanique, etc.) sauf la méthode numérique utilisée (éléments finis, différences finies, etc.). Les résultats, dévoilés en 2004 avec six participants, ont montré, comme on pouvait s'y attendre, une large dispersion due à la densité de la discrétisation utilisée et que l'effort nécessaire pour obtenir un maillage « correct », compromis entre une bonne précision et un temps de calcul acceptable, est encore du domaine de l'expertise. Des calculs complémentaires avec des maillages fins et très fins ont été réalisés à l'Ecole Centrale de Nantes et montrent qu'il fallait plus de 30 000 nœuds pour obtenir un résultat raisonnable (figure 48).

Concours « FONDSUP 2003 » et « ASEP-GI 2004 »
Deux autres concours de prévisions ont été organisés par la division MSRGI dans le cadre des symposiums internationaux FONDSUP sur les Fondations superficielles (2003) et ASEP-GI sur l'Amélioration des Sols en Place (2004). Ce dernier concours comprenait deux étapes : l'une consistait à déterminer les valeurs des paramètres de calcul à partir des caractéristiques géotechniques traditionnelles (essais in situ et en laboratoire) et l'autre à appliquer une méthode de calcul (de type empirique, oedométrique ou numérique). L'ouvrage considéré correspondait à un chantier réel pour lequel on disposait de mesures pour la validation (mesures inconnues des participants). Fort d'une importante participation (18 ingénieurs et chercheurs), ce concours a montré qu'il était difficile de prévoir le comportement des remblais sur sols renforcés par un réseau de colonnes ballastées (Figure 49), mais aussi qu'il était encore délicat de prévoir le comportement d'un remblai construit sur un sol compressible naturel (non renforcé).

Ces concours sont une excellente occasion de confronter et de débattre des pratiques de calcul et de détermination des valeurs des paramètres. Pour l'année 2005, la division MSRGI a préparé un nouvel exercice de prévisions dans le cadre du prochain symposium international « 50 ans de pressiomètres » ISP5 – PRESSIO 2005, organisé en août 2005.

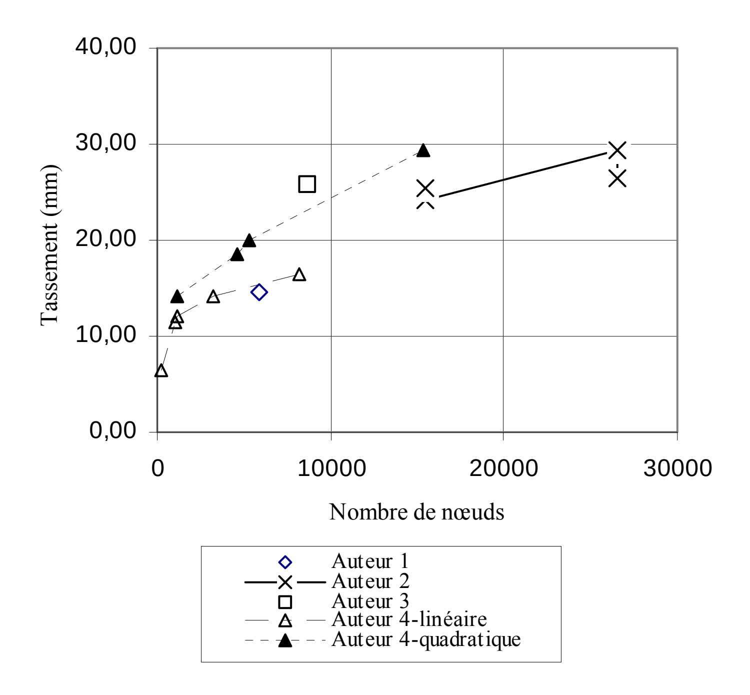


Figure 48. Exemple de courbe de convergence pour le concours « Calcul 3D », dans le cas du tassement correspondant à une pression de 300 kPa en fonction du nombre de nœuds dans le modèle numérique 3D (modèle de comportement de Mohr-Coulomb non associé) (2003-2004)

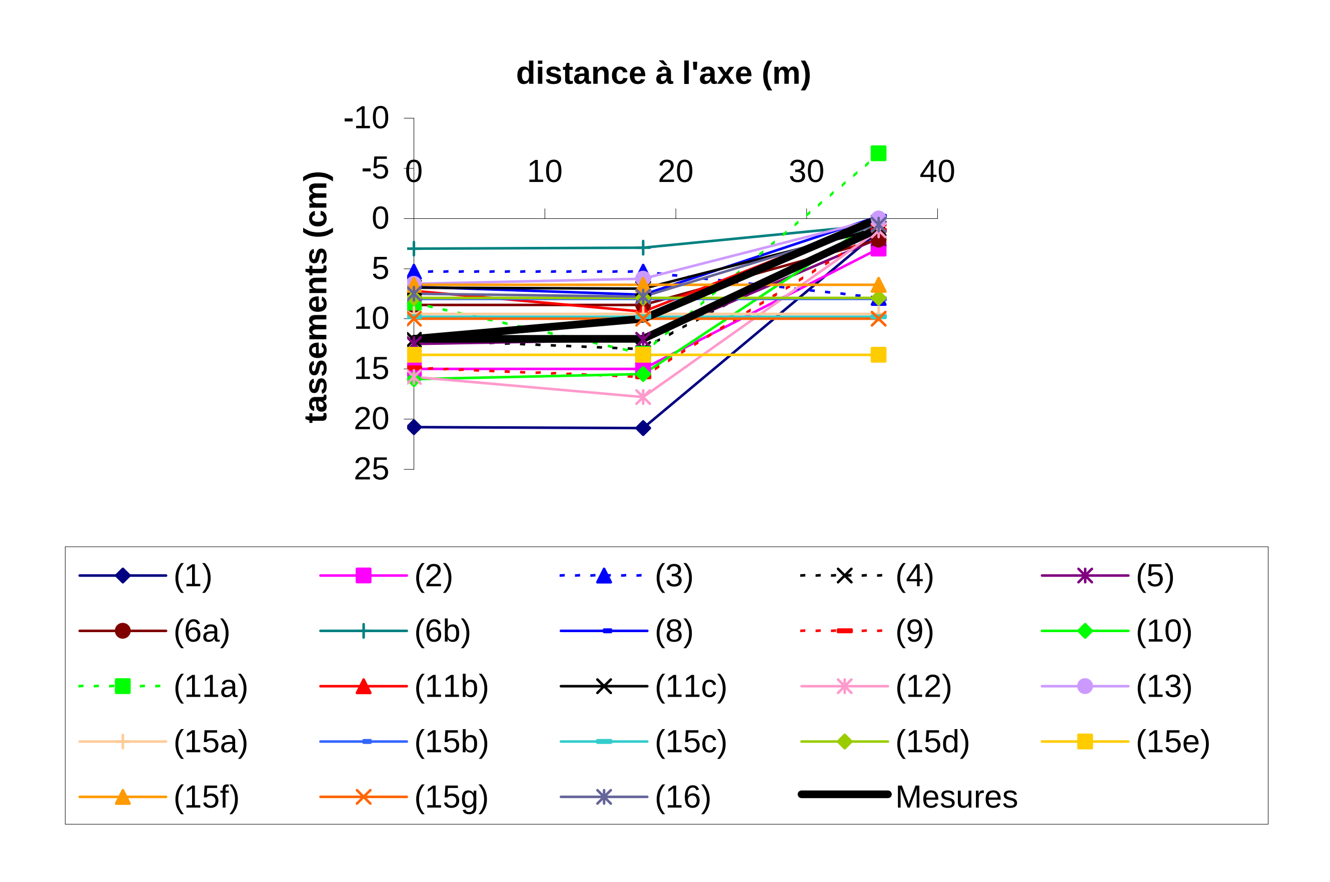


Figure 49. Extrait des résultats du concours de prévisions du symposium international ASEP-GI 2004. Comparaison des tassements calculés et mesurés après traitement pour t = 160 j.

B4 - Collaborations et partenariats

Cette partie récapitule les organismes avec lesquels des collaborations et partenariats ont été entretenus ou établis au cours de la période 2001-2004.

1. Projets européens

Les projets européens sont l'occasion de développer des partenariats avec des organismes étrangers. La liste des organismes impliqués dans ces projets est trop longue pour figurer ici, on se contente d'évoquer les objectifs de ces projets.

- COST C7 (1999-2002) : Interaction sol-structures en génie civil urbain (S. Borel, Ph. Mestat). Ce projet a permis des échanges sur les recherches menées en géotechnique urbaine, notamment dans l'emploi des logiciels de calcul et des méthodes de dimensionnement en vigueur dans les différents pays européens, y compris la méthode observationnelle (ou dimensionnement interactif). Quatre fascicules de synthèse ont été publiés en 2003.

- COST C345 (1999-2002) : Diagnostic et maintenance des ouvrages de génie civil (J.-L. Durville).

- TRASITU (1999-2001) : Travaux publics réalisés en site urbain (A. Maldonado).

- IMIRILAND (2001-2003) : Impact des mouvements de terrain de grande ampleur en régions montagneuses (J.-L. Durville, P. Potherat, R. Russo).

- TREE (2001-2004) (A. Maldonado) : Création d'un laboratoire virtuel européen regroupant les grands équipements de recherche dans le domaine du transport et du génie civil. A. Maldonado a assuré la direction du projet. L'année 2002 a vu l'ouverture du site web du projet. Le projet a intéressé 16 partenaires dans 12 pays ; plusieurs des grands équipements nantais et parisiens du LCPC ont été concernés.

- SESAME (2001-2004) (P.Y. Bard, Ph. Guéguen) : Utilisation du bruit de fond pour évaluer les effets de site. P.-Y. Bard a assuré la direction du projet.

- EURO-SEISRISK (2002-2004) : Étude du risque sismique, des effets de site et de l'interaction sol-structure dans un bassin instrumenté (P.-Y. Bard, Ph. Guéguen). Ce projet est prolongé de six mois en 2005.

- SISMOVALP (2003-2006) (P.-Y. Bard, Ph. Guéguen) : Étude du risque sismique dans les vallées alpines (Interreg IIIB « Espace-Alpin », coordinateur F. Cotton / LGIT).

- PARTNER (2001-2005) : Validation des essais sur granulats et sur formules de béton susceptibles d'évaluer la réactivité potentielle d'un béton. L'année 2004 a été consacrée à la mise en œuvre des essais croisés concernant la validation des méthodes d'essais sur granulats et sur formules de béton susceptibles d'évaluer la réactivité potentielle d'un béton. Le LCPC a testé la méthode ARP-1 (méthode pétrographique) et la méthode ARP-4 (essai de performance), (S. Guédon-Dubied).

- Laboratoire « Lagrange » : Laboratoire pour les grands problèmes du génie civil. Ce réseau est un Groupement de recherche européen (GDRE), constitué entre le CNRS, l'université de Montpellier, l'ENPC (CERMES), le LCPC et plusieurs centres de recherche italiens. La division MSRGI participe aux recherches dans le domaine de la modélisation numérique (N. Droniuc, E. Dimnet).

- Dglab-Corinth (2000-2003) : Projet d'étude du rift de Corinthe impliquant de nombreux partenaires dont le CERMES et la division MSRGI (S. Guédon-Dubied). La division MSRGI a réalisé des essais mécaniques sur des échantillons de roches profondes, prélevés dans la faille de Corinthe à environ 760 m de profondeur.

La division MSRGI a également participé au montage des projets européens suivants qui n'ont malheureusement pas abouti, et qui représentent un temps cumulé non négligeable de concertation et de préparation :

- projet QUARRIES (QUArries and Resources Recycling Impact on European Sustainability, 2001) (A. Maldonado). L'objectif était d'élaborer un outil permettant de quantifier les impacts environnementaux provoqués par l'ouverture, l'exploitation et le réaménagement de carrières fixes ou temporaires ;
- projet intégré SUSTINFRA, consacré au développement d'infrastructures innovantes et de nouvelles méthodes de construction à faible coût et grand rendement (participation de Ph. Mestat, 2002-2003) ;
- réseau d'excellence ESMICS (European Sustainable Mobility for an Integrated City System) (A. Maldonado), l'objectif était de rassembler des compétences scientifiques et de les mettre au service d'une gestion maîtrisée, environnementale et durable de la croissance des villes (2002) ;
- réseau d'excellence GRANAH (Mountainous Natural Hazards related to Rapid Gravitational Mass Movements), consacré notamment aux phénomènes d'avalanches et de chutes de blocs (participation A. Pouya, E. Dimnet, 2002).

Récemment, la division MSRGI a participé au montage d'un nouveau Projet Intégré « GEOPROSPECTS », piloté par GeoDelft (février 2005). Le sujet concerne l'amélioration contrôlée des performances des sols naturels. Il s'agit de traiter les sols en place et d'amener leurs propriétés mécaniques et hydrauliques à un niveau compatible avec un projet de construction.

2. Actions internationales

En dehors des projets européens, il y a eu relativement peu de coopérations internationales sur la période 2001-2004. La principale cause est, d'une part, le manque de temps pour maintenir et relancer les actions bilatérales et, d'autre part, le fait que les moyens financiers ne sont pas toujours au rendez-vous. Les principales coopérations actives au cours de la période 2001-2004 ont été les suivantes.

- Algérie : la coopération CTTP/LCPC (« Quelle politique pour les granulats routiers ? ») a été poursuivie jusqu'en 2001, avec l'organisation de deux ateliers (A. Maldonado).
- Algérie (jusqu'en 2002) : coopération avec l'Université de Sidi Bel Abbès. Recherche sur le comportement du Pneusol dans les sols gonflants (N.T. Long).
- Algérie : collaboration bilatérale ACI « RNCC », projet financé par l'INSU avec une participation de l'IRD, et centré sur le risque sismique dans la région d'Alger et l'étude du séisme de Zemmouri-Boumerdès du 21 mai 2003 (P.-Y. Bard, Ph. Gueguen).

- Tunisie (jusqu'en 2002) : formation sur les fondations et la normalisation en géotechnique (S. Amar).

- Maroc (2000-2004): coopération avec le LPEE, convention de recherche sur des essais de fondations sur sols gonflants à Ouarzazate (Ph. Reiffsteck).

- Irlande (1999-2002) : étude du comportement des sols fins avec l'appareil triaxial pour éprouvettes cylindriques creuses (intercomparaison de résultats obtenus à l'Université de Dublin et au LCPC, Ph. Reiffsteck)
- Irlande (1998-2001) : modélisation du comportement d'un remblai instrumenté avec l'Université de Trinity College (S. Borel, Ph. Mestat)

- Pays-Bas (2000-2002) : recherche menée avec Geodelft. Une campagne de prélèvement de sols à Rotterdam et à Almère a été organisée et des essais ont été réalisés sur les échantillons avec l'appareil triaxial pour éprouvettes cylindriques creuses, permettant l'étude de l'influence de la rotation des contraintes sur l'angle de frottement (Ph. Reiffsteck).

- Portugal (1997-2003) : coopération sur la pathologie des bétons (A. Le Roux).

- Iran. Projet PICS « Risque sismique à Téhéran » (P.-Y. Bard) : projet financé par le CNRS et coordonnant diverses études visant à mieux cerner l'aléa sismique à Téhéran.

- Vietnam (1996-2002) : formation des ingénieurs et renforcement des sols (Nguyen T. Long).

- Roumanie (1998-2001) : définition d'une politique de la ressource en granulats (A. Maldonado).

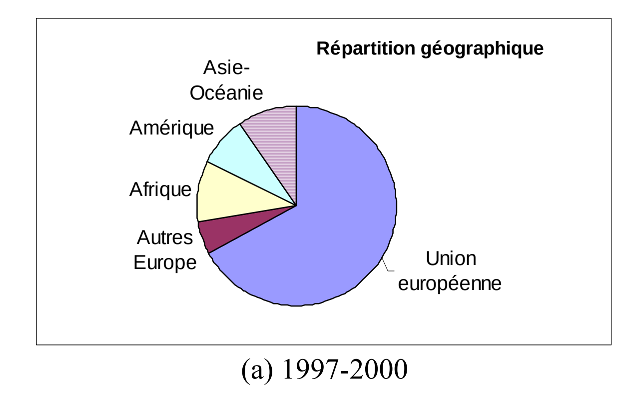
- Chili (2003-2004) : simulation des éboulements rocheux avec l'Université de Santiago (E. Dimnet).

- Inde (2003-2004). Une coopération Franco-Indienne a pris forme en octobre 2003. Elle devait se concrétiser et se formaliser en 2004 (accueil de doctorants, participation à des congrès, publications, actions de formation, etc). Malheureusement, mis à part des voyages et des conférences prononcées en Inde, aucun financement n'a pu être mis en place pour accueillir des doctorants au LCPC.

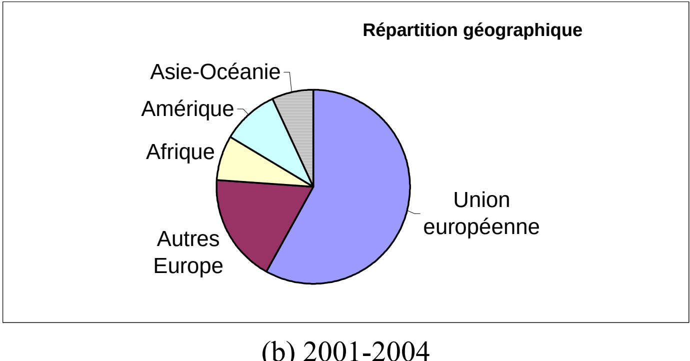
- États-Unis : collaboration ponctuelle engagée avec l'USGS (Californie) sur la représentativité des mesures de vibrations ambiantes en structure (P.-Y. Bard, Ph. Gueguen, thèse de F. Dunand, soutenue le 28 janvier 2005).

Les agents de la division MSRGI ont effectué 192 missions à l'étranger pendant les années 2001-2004. La répartition géographique des destinations est représentée sur la figure 50 et comparée avec celle estimée en 2001 (pour l'évaluation précédente). Ces missions correspondent essentiellement à :
- des études opérationnelles, effectuées pour le compte d'entreprises ou de bureaux d'études français voire européens ;
- des coopérations bilatérales ou des projets européens ;
- la participation à des groupes de travail internationaux, européens notamment ;
- la présentation de communications à des congrès de Géotechnique et de Mécanique des Roches.

On peut observer que le nombre de missions en Europe (hors union européenne) a beaucoup augmenté. Cela reflète la forte participation des pays de l'Est (hors UE) aux projets européens dans lesquels sont impliqués la division MSRGI et le LGIT.



(a) 1997-2000



(b) 2001-2004

Figure 50. Répartition géographique des missions à l'étranger effectuées par les agents de la division MSRGI

La volonté de mener de nouvelles coopérations bilatérales existent. En 2004, des contacts ont été pris qui devraient déboucher sur :

- un projet de coopération d'envergure dans le domaine de la reconnaissance intelligente des sols à l'aide d'essais en place, en 2005 ou 2006 (Ph. Reiffsteck). Les partenaires pressentis sont notamment l'Irlande, les Pays-Bas et la Norvège ;
- un partenariat bilatéral avec l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Une rencontre a eu lieu en décembre 2004 entre les représentants du domaine géotechnique du LCPC (divisions MSRGI, RMS et CERMES) et les responsables du Laboratoire des Sols et des Roches de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne pour entamer un partenariat bilatéral. Plusieurs sujets de coopération ont été cernés. Une réunion à Paris les 9 et 10 février 2005 a concrétisé les actions envisagées ;
- des projets « EGIDE » déposés pour des coopérations avec l'ITSAK Thessalonique (Grèce, programme PLATON) sur la thématique reconnaissance de sites accélérométriques, avec la FUNVISIS (Vénézuela, programme ECOS-Nord) pour la réponse sismique du bassin de Caracas, et avec l'Université de Lisbonne (programme PESSOA) sur des aspects inversion de structure superficielle et profonde. Aux dernières nouvelles, les trois projets ont été acceptés.

L'action internationale de la division MSRGI passe aussi par sa forte présence dans les sociétés savantes : l'Association Internationale de la Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement (P. Potherat, trésorier, au CETE de Lyon depuis fin 2002), la Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique (membre du directoire de la SIMSG : S. Amar, jusqu'en 2003), et la participation à de nombreux Comités Techniques (TC) de la SIMSG (en particulier, Ph. Mestat a été président du comité technique européen ETC 7 : « Numerical methods in geotechnical engineering », de 1994 à 2002 ; autres membres de TC : P.-Y. Bard, S. Borel, Ph. Reiffsteck, M. Bustamante).

Par exemple, la division MSRGI a participé activement au 15ème Congrès International de Mécanique des Sols d'Istanbul (août 2001). S. Amar a présidé une séance plénière consacrée aux « Grands projets de géotechnique ». M. Bustamante a prononcé deux conférences. La communication écrite de S. Borel a reçu l'un des trois prix réservés aux jeunes géotechniciens, qui récompense une contribution significative à la géotechnique. Le LCPC a également participé à plusieurs réunions de groupes de travail tenues à cette occasion (MM. Amar, Borel, Bustamante, Mestat).

De même pour le congrès européen de Prague (2003) et le prochain congrès international d'Osaka (2005), où Ph. Mestat a organisé la sélection et la relecture des 34 communications françaises finalement retenues pour ce congrès.

Enfin, de par son niveau de compétence et d'expertise reconnu internationalement, le LCPC et donc la division MSRGI pour ses activités, sont fréquemment amenés à recevoir des délégations étrangères ou des visiteurs isolés. Cette activité participe du rayonnement international du LCPC, même s'il est difficile de transformer ces visites en partenariat de longue durée.

3. Actions nationales

La division MSRGI poursuit de nombreuses coopérations avec les laboratoires et centres de recherche français. Ces partenariats s'expriment de façons multiples : conventions bilatérales, projets communs, sous-traitances (contrats de recherche sous-traités à l'extérieur), etc.

De 2001 à 2004, les coopérations les plus actives ont été les suivantes.

- EUDIL (Université de Lille) : étude expérimentale et modélisation du comportement des sols gonflants (Ph. Reiffsteck).
- Université de Nancy : influence des additions minérales dans le béton (J.S. Guédon-Dubied).
- LNE : thermographie infrarouge aéroportée pour détection de marnières en Normandie (P.

Potherat, C. Léonard).
- ENTPE (Lyon) : étude vibratoire de bâtiments réels (P.-Y. Bard).
- CUST (Clermont-Ferrand) : mesure de la déformabilité des sols en place avec un pénétromètre (S. Borel, Ph. Reiffsteck).
- LIRIGM, par l'intermédiaire du GIS GEMAUN, « Géotechnique Environnementale et Maîtrise des Aléas Urbains et Naturels » rassemblant le LCPC et le LIRIGM. Le programme scientifique du GIS comprend six axes de recherche.
- CNAM, par l'intermédiaire du GIS GEMAUN en cours d'élargissement et d'un contrat avec la société TOTAL (en 2005).
- Ecole Centrale de Nantes : organisation de concours de prévisions (benchmarks), développement de la base de données MOMIS (Ph. Mestat).
- Ecole Centrale de Paris : rhéologie des sols et essais de laboratoire (Ph. Reiffsteck).
- INERIS : observatoire des affaissements de terrains (A. Pouya).
- Laboratoire de Recherche sur les Monuments Historiques : pathologie des matériaux et pierres en œuvre (S. Guédon-Dubied).
- Convention DPPR. Cette convention pluri-annuelle liant le LCPC et le Ministère de l'Écologie et du Développement durable (direction de la prévention des pollutions et des risques) a pour objectif de financer des recherches à caractère méthodologique, dans le RST, pour la prévention des risques (A. Pouya, C. Léonard).
- RNVO (« Risques Naturels et Vulnérabilité des Ouvrages »). Les recherches n'ont pas débuté, car la convention n'est pas encore signée (Ph. Mestat, A. Pouya, E. Dimnet).
- CEMAGREF : mise à disposition du programme de trajectographie STAR3D pour une thèse sur le rôle anti-avalanche de la forêt (E. Dimnet).
- convention « LCPC – Port Autonome du Havre – Solétanche-Bachy » pour l'instrumentation du projet « Port 2000 » (E. Bourgeois).
- ACI-CATNAT : étude de l'interaction site-ville (P.-Y. Bard).
- Projet RESUM (Réseau Subsidence Urbaine et Minière ; 2001-2004) : réseau technologique du MRT, ayant pour sujet l'évaluation de l'interférométrie radar comme outil de suivi des affaissements de terrain (J.-L. Durville, P. Potherat, C. Léonard).
- GEMGEP (P.-Y. Bard) : études de vulnérabilité du bâti niçois.
- Projet National Vibrofonçage : expérimentations sur site (S. Borel, M. Bustamante, F. Rocher-Lacoste).
- Projet VULNERALP: vulnérabilité du bâti existant grenoblois (projet de la région Rhône-Alpes) (Ph. Guéguen).

GIS GEMAUN - « Géotechnique Environnementale et Maîtrise des Aléas Urbains et Naturels »
Après la création du GIS LCPC-LIRIGM en 2003 et la nomination des membres du conseil de groupement et du comité scientifique, un programme de recherche commun pour l'année 2004 a été rédigé. Le programme 2005 est en cours d'élaboration. Le GIS sera élargi à la chaire de Géotechnique du CNAM en 2005. Le programme scientifique du GIS comprend six axes de recherche :
- axe1 : Reconnaissance et modélisation des mouvements de versant de grande ampleur (A. Pouya, C. Léonard, P. Alfonsi) ;
- axe 2 : Mécanismes de dégradation à l'origine des éboulements de falaise (A. Pouya, M. Bost)
- axe 3 : Propagation des éboulements en masse (A. Pouya, E. Dimnet)
- axe 4 : Caractérisation physico-mécanique des sols à éléments grossiers (Ph. Reiffsteck)
- axe 5 : Géotechnique des ouvrages (E. Bourgeois, Ph. Mestat)
- axe 6 : Durabilité hydromécanique des barrières de surface (Ph. Reiffsetck)

En 2004, première année du programme scientifique, seuls les quatre premiers axes ont été actifs. Pour la division MSRGI, ces recherches sont intégralement programmées dans les opérations « Risque rocheux », « Propriétés mécaniques des sols et des roches » et « Effets des travaux sur le patrimoine urbain ».

Institut Navier
La division MSRGI fait partie depuis 2003 de l'Institut Navier, structure fédérative de recherche rassemblant la division MSRGI, trois laboratoires mixtes de l'ENPC et du LCPC (LMSGC, LAMI, CERMES) et le Laboratoire de Mécanique de l'Université de Marne la Vallée. Cet Institut a pour ambition de créer un pôle de compétence dans les domaines de la Mécanique, de la Géotechnique et de la Physique des matériaux et des structures.
Le projet scientifique de l'Institut est organisé en cinq axes transversaux :
- axe 1 : Mécanique multi-échelles des matériaux et des structures (Ph. Mestat, E. Bourgeois) ;
- axe 2 : Milieux granulaires, milieux poreux et suspensions (Ph. Reiffsteck, S. Guedon-Dubied) ;
- axe 3 : Dynamique et vibrations des systèmes mécaniques complexes ;
- axe 4 : Couplages thermo-hydro-chimico-mécaniques dans les géomatériaux (S. Guédon-Dubied, N. Droniuc);
- axe 5 : Discontinuités en géomécanique (Ph. Mestat, F. Rocher-Lacoste, A. Pouya, S. Guédon-Dubied).

La division MSRGI mène des recherches dans l'axe 1 (projet CASTOR, Modélisation des sols renforcés, collaboration avec le LMSGC, la société Itech et des industriels), dans l'axe 2 (étude des sols hétérogènes ou grossiers), dans l'axe 4 (comportement des sols non saturés) et 5 (étude des interfaces, roches fissurées, instrumentation in situ, comportement des roches profondes, coopération CERMES-TOTAL-MSRGI). Ces recherches sont également programmées dans des opérations des LPC.

4. Contrats

Sur la période 2001-2004, les contrats de recherche gérés par la division MSRGI ont été liés aux projets européens, à la convention DPPR et à un contrat de la DRAST, obtenu en 2003, pour une meilleure évaluation des calculs de portance des fondations superficielles.

Les études et expertises se répartissent actuellement en trois grandes familles :
- les essais de fondations spéciales et autres expérimentations sur site ;
- les études et conseils liés aux risques naturels ;
- les études de pathologie des matériaux et des pierres en œuvre.

Les prestations en termes de modélisation numérique sont très rares depuis quelques années. La large diffusion de CESAR-LCPC fait que plusieurs bureaux d'études peuvent aujourd'hui faire de telles prestations, à des coûts, semble-t-il, inférieurs à ceux du LCPC. Néanmoins, des modélisations numériques sont assez souvent réalisées pour compléter les prestations de l'équipe « Instrumentations in situ » (voir l'exemple de l'étude des fondations du pont d'Argenteuil, figure 37, page 70).

Par ailleurs, depuis le départ de plusieurs ingénieurs (J.-L. Durville, G. Sève, S. Amar, Nguyen T. Long), les études liées aux problèmes de stabilité des pentes, qui étaient une activité historique de la division MSRGI, sont devenues quasiment inexistantes. Comme pour d'autres situations, il est difficile de regagner des « parts de marché » lorsque la concurrence est rude et bien installée et que l'on a été soi-même absent du marché pendant un temps certain (c'est-à-dire le temps de recruter un nouvel agent).

Les recettes liées à ces contrats, études et expertises sont indiquées dans le tableau 11 ci-après (qui reprend des éléments donnés dans le tableau 8, page 19). La liste des contrats est fournie dans les tableaux 13, 14 et 15 (pages 110-111).

Le faible montant prévu en 2005 tient compte du départ en retraite de M. Bustamante (décembre 2004), responsable de l'équipe « Instrumentations in situ ». F. Rocher-Lacoste prendra sa succession, mais on doit s'attendre, dans un premier temps, à un nombre de contrats plus faible après le départ de M. Bustamante.

Tableau 11. Montants des contrats gérés par la division MSRGI (en k€)

	2001	2002	2003	2004	2005
Contrats de recherche	105	169	418	86	70
Subvention DRAST (MSRGI)	-	117	-	-	87
Subvention GIS-RAP (LGIT)	-	-	-	-	56
Subvention Région Ile de France (achat du MEB)	-	-	-	120	-
Expertises et prestations diverses (dont certification)	246	186	196	109	80
Total	351	472	614	315	293

5. Participation aux écoles doctorales

La division MSRGI est fortement impliquée dans les activités de l'école doctorale MODES (« Matériaux, Ouvrages, Durabilité, Environnement et Structures ») dont font partie le LCPC, l'ENPC et l'Université de Marne-la-Vallée. Ph. Mestat est membre du comité de direction de l'Ecole doctorale.

Par ailleurs, une part importante des enseignements effectués par les agents de la division MSRGI concerne le DEA de Mécanique des Sols, des Roches et des Ouvrages dans leur Environnement (MSROE), devenu depuis 2004 le Mastère M2-MSROE, lié à l'école doctorale MODES. De plus, deux cours ont été proposés aux doctorants dans le cadre des formations qu'ils doivent suivre pendant leur thèse :

- « Calculs 3D en génie civil » (2002-2004) : Ph. Mestat, professeur ;
- « Techniques expérimentales en génie civil » (à partir de 2005) : J. Canou et Ph. Reiffsteck, professeurs.

Enfin, le développement des coopérations avec la recherche universitaire en géotechnique passe aussi par l'accroissement du nombre de chercheurs habilités à diriger des recherches (HDR). Suite au départ d'E. Leca (1998) et au décès de P. Morin (1999), la division MSRGI ne comptait plus qu'un seul HDR en 2001 (P-.Y. Bard). Depuis, le recrutement d'A. Pouya (2002) et la soutenance de Ph. Mestat (2003) ont permis de porter ce nombre à trois. La soutenance de S. Guédon-Dubied est également imminente (12 mai 2005). D'autres chercheurs ont des projets d'HDR (notamment E. Bourgeois, Ph. Reiffsteck, Ph. Guéguen, N. Droniuc).

B5 – Priorités scientifiques pour les quatre années à venir

Le projet de contrat quadriennal 2005-2008 du LCPC propose cinq orientations :
1. Faire contribuer l'infrastructure à la sécurité routière
2. Développer des matériaux et structures économes en ressources non renouvelables
3. Assurer l'insertion des infrastructures dans l'environnement urbain et péri-urbain (pollutions, risques naturels)
4. Valoriser les infrastructures existantes : diagnostic et maintenance
5. Développer les outils et les méthodes du génie civil

Les recherches que la division MSRGI et le LCPC/LGIT proposent de mener pour cette même période se retrouvent dans les orientations 2, 3, 4 et 5. Ces recherches couvriront les trois domaines d'excellence de la division : risques naturels ; comportement des matériaux ; ouvrages géotechniques complexes et géotechnique en milieu urbain.

1. Risques naturels

De façon générale, les recherches concerneront la connaissance de l'aléa (facteurs géologiques, cartographie, modélisation des phénomènes, prévision de l'occurrence…), les techniques de prévention et la vulnérabilité des structures et aménagements. Une partie de ces recherches a déjà été programmée dans l'opération de recherche « Risque rocheux », prévue de 2005 à 2008.

Les autres recherches seront structurées autour des projets suivants :
- le développement d'un Réseau Accélérométrique Permanent européen qui apportera de nombreux enregistrements sismiques exploitables pour la recherche (LGIT) ;
- la poursuite de projets européens et de coopérations bilatérales ;
- la mise en service de la station d'essais de chutes de blocs ;
- le montage de quatre nouvelles opérations de recherches dans le domaine des Risques naturels ;
- la création d'une nouvelle section dans la division MSRGI, consacrée à la dynamique des sols.

1.1. Risque sismique et ouvrages en sites sismiques

Les recherches concerneront à la fois la sismologie de l'ingénieur et la conception des ouvrages sous sollicitations dynamiques. Ces deux axes seront développés au sein de nouvelles opérations de recherche pour la période (2006-2009) :
- opération « Sismologie et effet de site » ;
- opération « Ouvrages en sites sismiques ».

Comme par le passé, une large part des recherches sera réalisée dans le cadre de projets nationaux et européens. En particulier, la réflexion sera poursuivie en vue de créer un Réseau Accélérométrique Permanent européen (LCPC/LGIT).

Le risque sismique et la prise en compte des effets dynamiques sur l'environnement et les infrastructures sont des enjeux forts du nouveau contrat quadriennal. Les moyens actuels du LCPC, et du réseau des LPC, sont insuffisants pour couvrir l'ensemble des besoins de recherche et de réglementation. Ce constat justifie la demande de création d'une nouvelle section au sein de la division MSRGI.

Création d'une nouvelle section « Dynamique des sols et des ouvrages géotechniques »

Le LCPC occupe déjà une place de premier plan dans le domaine de la sismologie de l'ingénieur et de l'interaction site-ville. Ces recherches sont actuellement menées par P.-Y. Bard, Ph. Guéguen (LGIT) et J.-F. Semblat (section DPR-Modèles numériques), appuyée par l'ERA de Nice : elles se situent à l'échelle d'une ville ou d'une région. Par ailleurs, la division RMS a développé une activité en

dynamique des sols sur modèle réduit centrifugé (JL Chazelas), qui vient d'être renforcée par l'acquisition d'un simulateur de séisme embarqué dans la centrifugeuse. Pour sa part, le CERMES mène des recherches en interactions sol-structure et effets de site (B. Gatmiri).

Toutefois, ces activités ne couvrent pas les besoins de recherche à l'échelle locale d'un ouvrage soumis à des sollicitations dynamiques (vibrations, séismes, chocs) et la nécessité de proposer des règles de dimensionnement plus « réalistes » que celles actuellement en vigueur. Ce domaine actuellement non couvert au LCPC concerne à la fois l'étude théorique de la propagation simultanée des ondes dans les sols et dans les structures, le dimensionnement des ouvrages géotechniques et souterrains, l'analyse de la stabilité des sites naturels, la mise en œuvre de géotechnologies pour réduire les nuisances dues aux effets dynamiques (vibrations notamment) et la gestion du risque sismique. Un des enjeux est aussi la continuité des méthodes de calcul entre les comportements statique et dynamique ; les méthodes de calcul et leur validation étant une des missions fondamentales de la division MSRGI.

De manière à être efficace, il apparaît souhaitable de renforcer le potentiel actuel du LCPC par des recrutements dans les divisions RMS (autour de la centrifugeuse et des études de similitude) et MSRGI (pour les aspects ouvrages et sols sous sollicitations dynamiques).

Le projet de la division MSRGI consiste à demander le recrutement d'un directeur de recherche (« Dynamique des sols »), d'un chargé de recherche (« Vibrations ») et d'un technicien supérieur, et à associer J.-F. Semblat à ce projet (DPR-Modèles Numériques). Ces personnes seraient regroupées dans une nouvelle section de la division MSRGI, qui pourrait s'intituler « Dynamique des sols et des ouvrages géotechniques ». Les fortes associations avec le LGIT et l'ERA de Nice seraient naturellement conservées et renforcées.

Les missions de la section « Dynamique des sols et des ouvrages géotechniques » (DSOG) et du LCPC/LGIT consisteraient à mener des recherches, études et expertises, au plan national ou international, dans les domaines suivants :
- dynamique des sols, effets des vibrations sur les sols et sur les structures ;
- interactions site-ville (MSRGI et LGIT) ;
- sismologie de l'ingénieur (LGIT) ;
- dimensionnement des ouvrages géotechniques et souterrains ;
- analyse de la stabilité des sites naturels ;
- gestion du risque sismique (MSRGI et LGIT).

Sur la période 2005-2008, la section participerait à l'opération de recherche « Diminuer les vibrations en ville» et à l'élaboration d'une nouvelle opération « Ouvrages en sites sismiques ».

1.2. Dynamique des sols et vibrations

La prise en compte des effets dynamiques (vibrations, sollicitations dynamiques, chocs, etc.) est un enjeu important pour la recherche en génie civil et la réduction des nuisances dues aux vibrations (chantiers, circulation, etc.) est une demande sociétale forte. La division MSRGI du LCPC souhaite poursuivre des recherches dans ces domaines et contribuer, notamment par le développement de « géotechnologies », à la réduction des nuisances dues aux effets dynamiques.

Pour la période 2005-2008, les recherches envisagées par la division MSRGI concernent :
- l'amélioration de la conception anti-sismique des ouvrages de géotechnique ;
- la conception et développement de dispositifs de prévention afin de réduire les nuisances (détournement des vibrations et dimensionnement de ces dispositifs) ;
- la modélisation du comportement sous sollicitations dynamiques, en tenant compte des propagations respectives dans le sol, dans l'air et dans les structures (sujet de thèse envisagé) ;
- le développement de géotechnologies pour diminuer les nuisances dues aux vibrations ;

- la mise en œuvre d'expérimentations en laboratoire et en vraie grandeur ;
- la caractérisation du comportement des sols naturels soumis à des vibrations (sujet de thèse).

La caractérisation en laboratoire s'appuiera sur les compétences du laboratoire de Mécanique des sols (section CSOG) et sur l'acquisition d'une colonne résonnante pour réaliser des essais dynamiques.

La modélisation numérique en dynamique des sols bénéficiera des actuels développements du module de calcul MCCI de CESAR-LCPC, réalisés par la division Fonctionnement et Durabilité des Ouvrages d'Art (FDOA). Ce module de calcul résout des problèmes de dynamique des massifs et structures à comportement non linéaire. Les modèles disponibles actuellement sont adaptés à la simulation du comportement du béton. Dans un premier temps, les recherches consisteront donc à ajouter des lois de comportement spécifiques aux sols dans le code source. Ces lois de comportement auront été validées par des essais en laboratoire. Par la suite, des comparaisons entre les résultats de la modélisation numérique et des mesures sur ouvrages réels seront envisagées.

1.3. Risque rocheux et mouvements de terrain

Les recherches seront liées au lancement de l'opération « Risque rocheux » (2005-2008), dont les finalités sont de faire progresser les connaissances en matière de mouvements de versants et de chutes de blocs, et de proposer des techniques pour protéger les personnes et les biens. Le cahier des charges, rédigé en 2004, précise les engagements de la division MSRGI sur les thèmes suivants :
- application des techniques géophysiques à la reconnaissance des versants et massifs fracturés (collaboration avec la division RMS et des LRPC) ;
- altération et vieillissement des matériaux rocheux, et conséquences sur la stabilité des versants et des falaises (essais de laboratoire, modélisation, thèse de M. Bost) ;
- influence des discontinuités sur le comportement hydromécanique, effets d'échelle et modélisation de l'instabilité des massifs (sujet de thèse envisagé) ;
- simulation des chutes de blocs, du phénomène de rebonds et des éboulements en masse (sujet de thèse envisagé) ;
- « validation » de la station d'essais de chutes de blocs, réalisation d'expérimentations dans des conditions contrôlées, exploitation des résultats (sujet de thèse à envisager à moyen terme) ;
- instrumentation et suivi d'ouvrages instables ;
- méthodes de calcul des mouvements de terrain, analyse de la déformation progressive des versants (approche hydromécanique et joints visqueux) (sujet de thèse envisagé).

Ces recherches devraient également bénéficier des activités du GIS GEMAUN (avec le LIRIGM et le CNAM), d'une collaboration avec l'EPFL (Laboratoires de Mécanique des Sols et des Roches) et de collaboration avec les LRPC, le LMSGC et la division FDOA du LCPC. Les efforts de recherche accorderont une place majeure à la station d'essais de chutes de blocs et de dispositifs pare-blocs.

Par ailleurs, la division MSRGI souhaite poursuivre ses recherches dans le domaine de la stabilité des pentes dans le cadre d'une nouvelle opération de recherche dédiée à ces problèmes d'instabilité des sols (rupture progressive, effet des conditions hydrauliques sur la rupture, modélisation, etc.).

1.4. Risques liés à l'érosion des sols, à la sécheresse et aux inondations

Les écoulements superficiels (ruissellements, inondations) et la circulation interne de fluides dans les massifs de sol sont à l'origine de nombreux désordres sur la structure des sols ou la stabilité d'ensemble des massifs. Les ouvrages de géotechnique sont ainsi vulnérables aux sollicitations dues à un fluide : affouillement de fondations, érosion de remblai ou digues. Les écoulements superficiels et internes entraînent des dégradations qui ne conduisent pas directement à la ruine de l'infrastructure, mais sapent celle-ci en réduisant sa stabilité d'ensemble sous la poussée des eaux et des charges de service. La combinaison de ces phénomènes, s'ils perdurent assez longtemps, menace alors de ruine l'ouvrage. L'étude des phénomènes ainsi mis en jeu est d'une grande importance pour comprendre

certains aspects liés à la stabilité des talus et des digues, et pour améliorer la conception des ouvrages en terre, qui peuvent également jouer un rôle dans la gestion du risque d'inondation.

La division MSRGI possède déjà des compétences en matière d'essais d'érosion : elle dispose d'un érodimètre, qui permet d'estimer l'érosion d'un sol. La division propose d'élargir les recherches et d'aborder les thèmes suivants :
- caractérisation par des essais du phénomène d'érosion des sols ;
- développement de méthodes de prévision de l'érosion (sujet de thèse envisagé) ;
- analyse des phénomènes de ruissellement sur les versants naturels, qui peuvent conduire à des crues et des inondations soudaines ;
- effets de conditions environnementales extrêmes sur les sols et impacts sur les ouvrages (changements climatiques, sécheresse, cycle gel-dégel, cycle imbibition-séchage), application à la stabilité des pentes et des versants naturels (sujet de thèse envisagé).

La division MSRGI participera à l'opération « Mise en charge hydraulique des remblais d'infrastructures de transport » (2005-2008) et au montage de l'opération « Évaluation des risques liés à la sécheresse ».

Pour une part de ces nouvelles activités, la division MSRGI propose le recrutement d'un chargé de recherche.

2. Comportement des matériaux naturels et artificiels

Les objectifs d'amélioration de la conception des ouvrages géotechniques, de la maîtrise de leur durée de vie (construction durable), d'économie des ressources impliquent une approche performantielle du matériau « sol naturel » et des moyens de diagnostic puissants (reconnaissance, contrôle, pathologie). Cela inclut la performance mécanique à court et à long termes et la connaissance physico-chimique liée aux interactions avec l'environnement et à l'évolution dans le temps. Les recherches liées à cette approche seront réalisées grâce aux équipements originaux et innovants, récemment acquis ou développés par la division MSRGI (presse triaxiale pour éprouvette creuse, appareil biaxial, triaxial in situ, pressiomètre de nouvelle génération, MEB environnemental, zétamètre, presses de mécanique des roches à très forts confinements).

2.1. Étude micro-structurale des sols et des roches

La connaissance du comportement physico-chimique des sols est indispensable à la compréhension du comportement des massifs de sol naturel et de leurs interactions avec les ouvrages de géotechnique, et a fortiori dans le cas de sols améliorés. L'évolution des matériaux soumis à des sollicitations mécaniques, au temps ou à des variations de leur environnement, est en effet l'un des phénomènes qui se trouvent à la base des problèmes de risques naturels (stabilité des massifs, glissements de terrain) ou des risques dus au rémploi de matériaux remaniés ou usagés, et qui ont une forte influence sur la vulnérabilité des ouvrages et leur durabilité. L'interaction entre la physico-chimie et la mécanique est une orientation que la division MSRGI entend développer pour aborder ces problèmes.

Les nouvelles possibilités d'observation, liées à l'acquisition d'un MEB environnemental et d'un zétamètre, seront employées pour mener des recherches sur les sols naturels, les sols améliorés et les granulats avec les thèmes suivants :
- analyse des mécanismes d'interaction entre l'eau adsorbée et les minéraux argileux (notamment les phénomènes électriques dues à la présence du fluide) (sujet de thèse envisagé) ;
- étude des mécanismes mis en jeu au sein d'un sol argileux avant la rupture (rupture progressive) ;
- influence des interactions physico-chimiques sur le comportement mécanique (liens micro-macro, cas des sols organiques) ;

- comportement des particules fines dans les granulats, dans les mélanges ou sols hétérogènes ;
- effets d'un changement d'environnement sur le comportement des sols, analyse microscopique des phénomènes de retrait dus à la sécheresse (sujet de thèse envisagé) ;
- perfectionnement des lois de comportement des sols naturels argileux en tenant compte des interactions physico-chimiques (en liaison avec l'équipe du Laboratoire de Mécanique des sols) ;
- interactions microscopiques et compatibilité entre matériaux anciens et matériaux neufs (cas d'un sol amélioré ou d'une réparation d'un ouvrage) (sujet de thèse envisagé) ;
- développement de méthodes d'analyse et de méthodologies pour le « diagnostic patrimonial » (ouvrages anciens, ouvrages réparés).

Le recrutement en 2005 d'un chargé de recherche en Physico-chimie des sols renforcera l'équipe du Laboratoire de microscopie et permettra d'entamer ces recherches sur la période 2005-2008.

La division MSRGI participera au montage des nouvelles opérations consacrées au « Diagnostic et traitement des pathologies d'ouvrage », à l'« Amélioration du réemploi des sols par de nouvelles conceptions et des nouveaux moyens d'exécution des ouvrages » et à la « Réparation des ouvrages géotechniques par renforcement et amélioration des sols en place ».

2.2. Étude du comportement des sols en laboratoire et en place

La compréhension de la rhéologie des sols naturels et l'amélioration des lois de comportement constituent les objectifs majeurs du laboratoire de Mécanique des sols. Les retombées de ces recherches concernent plusieurs opérations tant au niveau de la modélisation numérique, de l'étude des interfaces sols-structure (fondations, soutènements, en statique ou en sismique), de l'interaction des sols avec l'eau (affouillement et érosion, sécheresse) que du comportement du bâti ancien, etc. Les exigences de qualité des essais et de leurs résultats imposent des évolutions de la recherche menée « en amont » sur le chantier (prélèvement, essais in situ) et « en aval » sur les modèles rhéologiques (sols hétérogènes, fluage, petites déformations et lois d'écoulement lors de l'apparition de la plasticité, comportement tridimensionnel lors de chargements complexes, etc.).

Les recherches envisagées concerneront des approfondissements de recherches déjà commencées et des aspects non encore étudiés en laboratoire ou en place :
- caractérisation du comportement 3D aux petites déformations et en déchargement, essais en place et en laboratoire (thèse de Nguyen Pham T., débuté en octobre 2004) ;
- influence de la rotation des contraintes sur la forme du critère de rupture et sur les directions de la loi d'écoulement plastique à la rupture (une thèse débutera en octobre 2005 sur ce thème) ;
- étude du comportement des « mélanges » (sols plus ou moins hétérogènes) et modélisation 3D ;
- étude de l'anisotropie des sols sous chargements complexes, élaboration d'un modèle de comportement anisotrope non linéaire ;
- analyse performantielle des sols améliorés par des techniques physico-chimiques, essais en place et en laboratoire (sujet de thèse envisagé) ;
- poursuite des essais sur l'érosion des sols (cf. risques naturels) et modélisation hydro-mécanique 3D de l'érosion (sujet de thèse envisagé) ;
- comportement dynamique et cyclique des sols naturels ou améliorés (cf. risques naturels).

D'autres besoins se situent plus spécifiquement dans le domaine des essais en place. En effet, la gestion interactive des chantiers nécessite aujourd'hui le développement de techniques de diagnostic fiables en temps réel et à grand rendement. Les essais actuels ne sont plus adaptés car trop lents, il convient d'en inventer de nouveaux pour répondre à ces demandes.

Plus généralement, la division MSRGI propose de mener une recherche ambitieuse sur de nouveaux équipements, capables de procéder à une reconnaissance intelligente des sols.

Projet reconnaissance intelligente des sols naturels (2005-2013)
Ce projet vise le développement d'un « robot sondeur » intelligent, capable de s'enterrer dans le sol par ses propres moyens, d'analyser les terrains rencontrés et de retransmettre en direct les informations sur la géologie, les propriétés mécaniques, etc. Cet engin pourrait également participer à la reconnaissance des sites pollués, à l'étude des sites trop instables pour envoyer des agents sur place, au contrôle de la qualité des travaux (notamment celle des fondations qui ne sont pas visibles). Des robots de différentes tailles (en fonction des performances demandées) pourront être conçus et fabriqués.

Moyens pour atteindre cet objectif :

- durée : 8 ans
- moyens financiers : 450 000 € sur cette période pour avoir un prototype ;
- moyens humains : recrutement d'un ingénieur-chercheur, d'un technicien supérieur (à plein temps sur cette problématique) (section CSOG) ;
- partenariat avec un réseau européen d'entreprises et d'universités (réseau ELGIP).

Ce projet pourrait être complété par l'utilisation de drones pour évaluer les risques naturels ou reconnaître de manière géotechnique des zones difficilement accessibles, pollués ou à risques.

Ces recherches seront menées au sein de quatre nouvelles opérations en cours de montage « Maîtriser les mouvements liés aux travaux urbains », « Caractérisation géotechnique et interactions sol-structures », « Techniques de reconnaissance géotechnique et modélisation des sites », et « Rhéologie des sols et des roches ».

2.3. Étude du comportement des roches en laboratoire

L'étude des risques naturels et de la vulnérabilité des ouvrages passe par le diagnostic des matériaux impliqués : matériaux naturels, pierres en œuvre, sols traités et interactions avec des matériaux fabriqués. Ce diagnostic est fondé à la fois sur l'observation (à différentes échelles) et sur des essais destructifs (réalisés en conditions maîtrisées) ou non destructifs (réalisés en place).

Dans le cas de monuments fragiles ou à cause de contraintes dues à la réglementation des monuments classés, les pratiques habituelles de reconnaissance et de caractérisation des matériaux par des essais destructifs ne sont plus adaptées. Il faut recourir à des techniques non destructives ou miniaturiser les appareils de prélèvement. La division MSRGI souhaite explorer cette deuxième voie et définir de nouveaux essais et de nouveaux modes opératoires. L'enjeu est la caractérisation des matériaux à partir de prélèvements de dimensions inférieures à celles imposées par les normes actuelles (essais de mécanique des roches, essais de flexion, etc.) et l'obtention d'une bonne représentativité des prélèvements de petites dimensions. Les recherches porteront aussi sur les effets d'échelle dus aux changements de taille des corps d'épreuve à tester. La question essentielle à laquelle il faudra répondre est la suivante : quelle serait la taille critique d'un prélèvement pour réaliser un essai représentatif et établir un diagnostif sur l'état durable d'un monument ? Ces recherches pourraient être abordées dans la nouvelle opération « Diagnostic et traitement des pathologies d'ouvrages ».

De nombreuses recherches expérimentales seront également menées au laboratoire de Mécanique des roches dans le cadre de l'opération « Risque rocheux » (2005-2008) et concerneront l'altération et le vieillissement des matériaux rocheux, et l'étude du comportement des roches sous des cycles de gel-dégel (thèse M. Bost). Par ailleurs, l'étude des roches très fissurées sera poursuivie grâce à une coopération MSRGI-EPFL-ERA de Toulouse (thèse de F. Rojat).

La collaboration entre le CERMES et la division MSRGI sera encore renforcée au cours de la période 2005-2008. Les recherches proposées concerneront notamment :

- l'étude du comportement des roches profondes et localisation des déformations, essais réalisés sous très forts confinements (jusqu'à 200 MPa), effet de la température (thèse P. Lazar) ;
- le comportement mécanique et perméabilité au gaz des roches profondes, étude expérimentale sur l'étanchéité des puits de forage et des massifs rocheux profonds pour le stockage de gaz H_2S ou

CO_2 (collaboration TOTAL-CERMES-CNAM-MSRGI, une thèse débutera en octobre 2005);

3. Ouvrages géotechniques complexes et géotechnique en milieu urbain

Sur la période 2005-2008, cinq opérations de recherche sont prévues sur ce thème : l'opération « Maîtriser les mouvements liés aux travaux urbains » (2005-2008), déjà lancée, et les opérations envisagées « Diminuer les vibrations en ville », « Réparation des ouvrages géotechniques par renforcement et amélioration des sols en place », « Caractérisation géotechnique et interaction sol-structure » et « Diagnostic et traitement de pathologies d'ouvrages ».

Ces recherches nécessitent des diagnostics préalables pour choisir et optimiser des techniques de construction ou de réparation (définition de critères objectifs) et des outils pour évaluer, d'une part, l'impact des travaux en site urbain et, d'autre part, pour estimer les effets d'une réparation.

La division MSRGI entend contribuer de manière significative à ces opérations pour les années 2005-2008 en s'appuyant sur ses compétences en matière d'instrumentation des ouvrages et de modélisation numérique.

Comme la modélisation numérique est actuellement incapable de simuler la mise en place des inclusions dans un sol (pénétration, battage, fonçage, contraintes résiduelles) et qu'il est difficile de rendre compte du frottement dans les modèles réduits, l'expérimentation en vraie grandeur est incontournable et la recherche doit la pratiquer et l'utiliser au mieux. C'est en multipliant et en capitalisant les instrumentations dans des conditions différentes (technologies de mise en place, type de structure, type de sollicitations, nature des sols, type de réparation) que l'on pourra avancer dans les connaissances du fonctionnement des ouvrages (neufs, anciens, réparés), évaluer les performances des nouvelles techniques et les situer par rapport aux plus anciennes, proposer des méthodes de calcul adaptés, les valider et faire évoluer les règlements.

L'instrumentation des ouvrages est une des grandes compétences de la division MSRGI, qu'elle souhaite maintenir et développer après le départ en retraite du responsable actuel M. Bustamante, en décembre 2004. Un chargé de recherche recruté en 2005 viendra renforcer l'équipe, placée maintenant sous la responsabilité de F. Rocher-Lacoste. Par ailleurs, M. Bustamante devrait devenir directeur de recherche émérite, ce qui lui permettra de continuer à être présent au LCPC en tant que conseiller. Pour maintenir l'équipe, il conviendra de gérer le départ en retraite des deux TS en 2006 et 2007, et de prévoir les recrutements nécessaires.

Pour la période 2005-2008, les principales recherches menées seront concentrées sur :
- l'étude de la réparation des ouvrages ;
- les tests de nouvelles technologies de fondations (pieux du futur) ;
- des essais sur des massifs de sol améliorés ;
- des expérimentations en dynamique des sols (en liaison avec la nouvelle section « Dynamique des sols et ouvrages géotechniques »).

Ces recherches seront menées en partenariat avec des entreprises, car le LCPC est incapable de financer seul de telles expérimentations pour la recherche et pour l'élaboration des règlements.

4. Perfectionnement et validation de la modélisation numérique en géotechnique

Le logiciel CESAR-LCPC bénéficie depuis 2003 de pré- et post-processeurs entièrement nouveaux, plus modernes et plus ergonomiques que ceux disponibles jusqu'alors. Au cours de l'année suivante, la section des Modèles Numériques a élaboré le cahier des charges d'une nouvelle opération de recherche consacrée à l'amélioration des performances de CESAR-LCPC. Elle vise à mettre à niveau

ou rendre opérationnels différents éléments du solveur de calcul, en travaillant sur plusieurs aspects, qui vont de la programmation des algorithmes d'inversion de grosses matrices creuses à la restructuration des algorithmes pour les problèmes non linéaires.
Pour la division MSRGI, la première étape a consisté à reporter les développements en cours dans le référentiel version 4 (mis à disposition des développeurs en août 2004). À partir de 2005, la recherche sera concentrée sur la restructuration des modules spécifiques à la modélisation en géotechnique : mécanique en comportement non linéaire (MCNL), calcul avec prise en compte des contacts (TCNL), calcul en couplage hydromécanique (CSNL), et calcul des charges limites par la méthode cinématique régularisée (LIMI). Le but est d'unifier et de simplifier les structures algorithmiques, de manière à faciliter la maintenance, et à favoriser le développement de parties communes utilisables par les différents modules (par exemple pour la gestion des lois de comportement).

Depuis 2004, ces activités bénéficient de la mise en place du groupe de travail « CESAR-Géotechnique », qui réunit le directeur technique (en charge du domaine géotechnique), la section des Modèles Numériques, et les unités impliquées (MSRGI et RMS notamment). Ce groupe de travail a pour fonction d'identifier les développements ou les opérations de maintenance jugées prioritaires, de suivre les développements en cours, et de proposer leur introduction dans les différentes versions du logiciel (expert puis standard). La réflexion sur la restructuration et la simplification de la programmation des lois de comportement élastoplastiques a été formulée dans un document qui servira de base pour le travail de réorganisation prévu à partir de 2005.

Les travaux envisagés consistent à :
- poursuivre la sécurisation des algorithmes des modules de CESAR-LCPC en liaison avec la restructuration du solveur. Celle-ci devrait permettre d'améliorer la mise en œuvre de nouveaux développements (notamment des couplages mécanique, thermique, hydraulique et chimique) ;
- enrichir l'ensemble des cas-tests liés à chaque module de résolution (en liaison avec la section des Modèles Numériques du LCPC) ;
- valider les approches de modélisation par rapport à des ouvrages réels (notamment pour les soutènements et les excavations en zones urbaines) ;
- maintenir et développer la base de données MOMIS dédiée à la confrontation de résultats de calcul par éléments finis avec des mesures sur ouvrages réels. Il conviendra de s'intéresser aux fondations profondes et groupes de pieux, aux sols renforcés (géotextiles, inclusions, etc.) ;
- poursuivre l'analyse des possibilités et des limites de la méthode des éléments distincts pour simuler les problèmes de risques naturels (utilisation du logiciel UDEC) et évaluer les possibilités offertes par la version 3D du logiciel (dont la division MSRGI ne dispose pas) ;
- continuer le développement du moteur de calcul STAR3D (propagation de blocs, éboulements) ;
- disposer dans CESAR-LCPC d'un modèle « simple » capable de décrire les principales manifestations du comportement des sols non saturés (module CSNS, collaboration avec le Laboratoire de Mécanique des sols de l'EPFL).

5. Organisation de congrès internationaux sur la période 2005-2008

La division MSRGI souhaite poursuivre une politique ambitieuse d'organisation de congrès. Outre les symposiums ISP5 (2005) et PARAM 2005, sont envisagées les manifestations suivantes :
- 3ème congrès sur les « Effets de la géologie de surface sur les séismes » (P.-Y. Bard). La date envisagée est fin août 2006, à Grenoble ;
- symposium international sur la « Rupture dans les géomatériaux » (septembre 2006) ;
- symposium international sur la « Réparation des ouvrages géotechniques » (septembre 2007) ;
- symposium international sur le « Risque rocheux » (2008). Ceci correspondrait à la fin de l'opération de recherche du même nom (A. Pouya, E. Dimnet) ;
- conférence internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique en 2013, à Paris. Même si cette date paraît lointaine, c'est dès maintenant qu'il convient de faire acte de candidature.

C – Productions, enseignement, administration

C1 – Productions 101
1. Politique éditoriale de la division MSRGI 101
2. Publications scientifiques et techniques 102
3. Organisation de congrès 107
4. Productions techniques 109
5. Études et expertises 110

C2 – Enseignement et stagiaires 113
1. Enseignement (dont Écoles doctorales) 113
2. Encadrement de chercheurs et de stagiaires de courte durée 116
3. Accueil de chercheurs étrangers 116
4. Participation à des jurys de thèse 117

C3 – Administration de la recherche et animation scientifique et technique 119
1. Animation du réseau des LPC et administration de la recherche 119
2. Administration de la recherche (hors réseau des LPC) 119
3. Participation à des groupes d'experts et des commissions techniques 119
4. Participation à des comités de rédaction ou de lecture de revues 120
5. Participation à des comités de normalisation 121
6. Direction de projets 122
7. Autres comités dans le domaine de la gestion de la recherche 123

C1. Productions

La valorisation des travaux de recherche de la division MSRGI est effectuée sous diverses formes : articles, communications à des congrès internationaux et nationaux, guides techniques et recommandations, modes opératoires, méthodes d'essai, rapports d'essais et d'expertise, logiciels, brevets, matériels.

1. Politique éditoriale de la division MSRGI

Les publications concernent les résultats des recherches, mais aussi la diffusion de la doctrine technique élaborée par le LCPC à l'usage des services de l'État et des bureaux d'études. Les ingénieurs et les chercheurs de la division MSRGI apportent aussi leur concours à des publications de synthèse et de méthodologie et aux travaux de normalisation nationaux et internationaux.

Une autre part importante des publications est constituée par la documentation des logiciels (notamment pour les versions successives de CESAR-LCPC en ce qui concerne la géotechnique) et par les rapports d'expertise.

La division MSRGI a une politique éditoriale qui privilégie quatre orientations :

- une forte présence dans les grandes conférences de la Société Internationale de Mécanique des Sols et de la Géotechnique (Istanbul, 2001 ; Prague, 2003 ; Osaka, 2005), et aussi dans celles organisées par la Société Internationale de Mécanique des Roches et par l'Association Internationale de la Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement. Ce sont autant d'occasions pour rencontrer nos homologues étrangers, et d'une façon générale, la profession et les experts du plus haut niveau ;

- une activité d'organisation de symposiums internationaux en géotechnique en partenariat avec l'ENPC (NUMGE 2002, PARAM 2002, FONDSUP 2003, ASEP-GI 2004, ISP 2005, PARAM 2005). Cela permet également de rencontrer (ou d'inviter) nos homologues sur une thématique choisie parmi les activités de la division MSRGI ou qui correspond à une demande de la profession pour faire le point sur un problème particulier (ce fut le cas pour l'amélioration des sols avec le symposium ASEP-GI) ;

- la publication dans les grandes revues internationales de géotechnique et de génie parasismique. Cette orientation volontariste est progressivement mise en place. Le nombre d'articles devrait augmenter « mécaniquement » avec la clôture de plusieurs opérations de recherche importantes en 2004 et 2005, dirigées par des chercheurs de la division MSRGI ;

- les numéros spéciaux du BLPC. Sont ainsi en préparation un numéro triple consacré aux développements récents de CESAR-LCPC (resp. Ph. Mestat), un numéro sur le risque rocheux (resp. E. Dimnet) et un numéro sur les milieux hétérogènes en géotechnique (resp. Ph. Reiffsteck). Ces numéros seront traduits en anglais, afin de leur donner la plus large diffusion possible.

La poursuite de cette politique éditoriale correspond aux recommandations 3 et 4 du Comité d'évaluation prédédent (1997-2001). Il faut noter que les importants renouvellements de personnel de ces dernières années ont permis de créer cette dynamique d'organisation de symposiums et de publications, qui devrait également se traduire par encore plus d'articles dans les revues internationales. Le tableau 12 et la figure 51 décrivent la répartition des publications des agents de la division MSRGI pour la période 2001-2004.

Les versions anglaises des articles du BLPC (depuis le n° 231) sont indiquées pour mémoire dans le tableau 12. Toutefois, elles représentent un travail non négligeable de relecture attentive et sont prises en compte dans la figure 52 montrant la répartition entre les publications en français et en anglais.

2. Publications scientifiques et techniques

Tableau 12. Bilan des productions de la division MSRGI et du LCPC/LGIT sur la période 2001-2004 (y compris des textes écrits en 2004 et accepté pour publication en 2005, cf. liste en annexe)

Type de production			
Etudes, contrats, prestations diverses	Nombre		
Contrats	7		
Etudes et expertises	49		
Prestations diverses pour le réseau des LPC	-		
Prestations diverses pour d'autres demandeurs	-		
Publications, communications, rapports, …	En français	En anglais	Autres langues
Articles *(57)*			
Revues à comité de lecture	14	23	0
Bulletin des LPC	15	(pm 13)	0
Revues technico-professionnelles	5	0	0
Livres et chapitres de livres	4	2	0
Colloques et séminaires organisés	0	4	0
Communications avec actes *(201)*			
Congrès internationaux	73	88	0
Congrès nationaux	40	0	0
Manifestations du réseau des LPC	-	-	-
Autres manifestations	-	-	-
Communications (sans actes)			
Congrès internationaux	0	> 40	0
Congrès nationaux	> 20	0	0
Manifestations du réseau des LPC	~ 20		0
Autres manifestations*	> 30		0
Editions du LCPC			
Rapports de recherche ERLPC	5	0	0
Méthodes d'essai	2	0	0
Fascicules réglementaires et guides techniques	7	0	0
Actes de congrès	0	5	0
Littérature non éditée			
Rapports de recherche	> 80	0	0
Rapports de contrat	~ 50	~ 40 **	0
Mémoires de thèse (et 2 HDR)	19	0	0
Rapports de stages	45	0	0
Autres rapports	-	-	-
Cours polycopiés	5	0	0
Productions techniques	Nombre		
Appareillages	2		
Brevets	0		
Logiciels et composants (dont modules de CESAR-LCPC)	5		
Normes	0		

* Séances techniques de sociétés savantes françaises : CFMS, CFGI, CFMR, AFPS, etc.

** Rapports d'étapes et finaux pour les projets européens

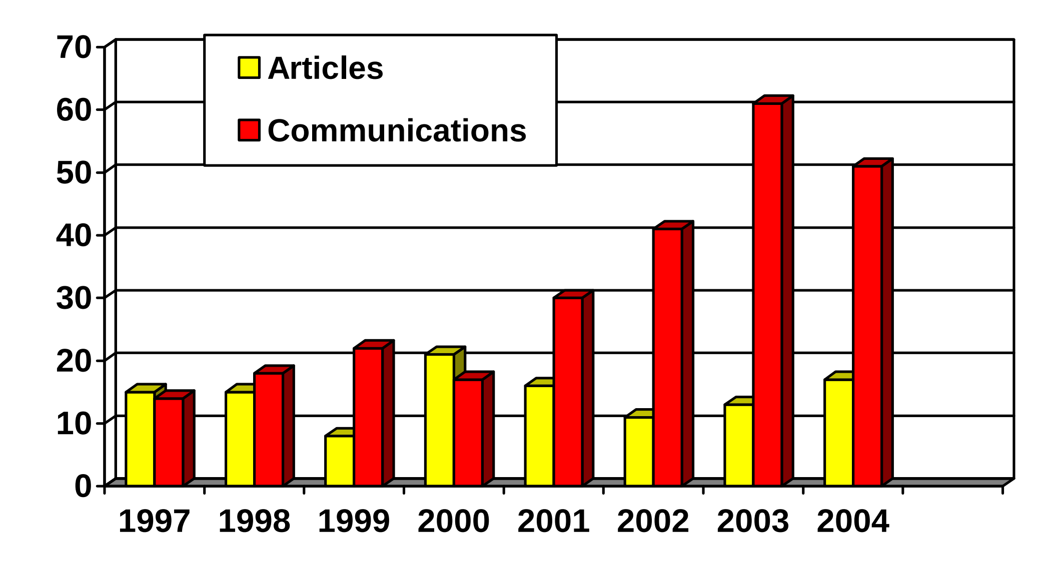


Figure 51. Évolution du nombre de publications depuis 1997

Si on compare le nombre de publications de la division MSRGI sur les périodes (1997-2000) et (2001-2004), on observe :

- une forte diminution du nombre d'articles publiés dans le BLPC (-42%) et dans les revues techniques professionnelles (-70%). L'effort de publication à l'international s'est fait au détriment des publications dans le BLPC et d'autres revues francophones ;
- une augmentation modérée (+ 8%), mais régulière, du nombre d'articles publiés dans les revues internationales. Toutefois, cette augmentation passe à +24% si on tient compte des articles actuellement en soumission à différentes revues ;
- une très forte augmentation des communications écrites à des congrès (+ 155%), qui correspond à la volonté d'organiser des manifestations internationales en France et au renforcement de la participation des chercheurs de la division aux grandes conférences des Sociétés Internationales du domaine de la géotechnique (ISSMGE, ISRM, IAEGI) et de la modélisation numérique (NUMOG, IACMAG, NUMGE).

La figure 52 représente la répartition des articles et communications écrits en anglais et en français, depuis 1997. Il est intéressant de noter que la langue anglaise est finalement devenue plus usitée que

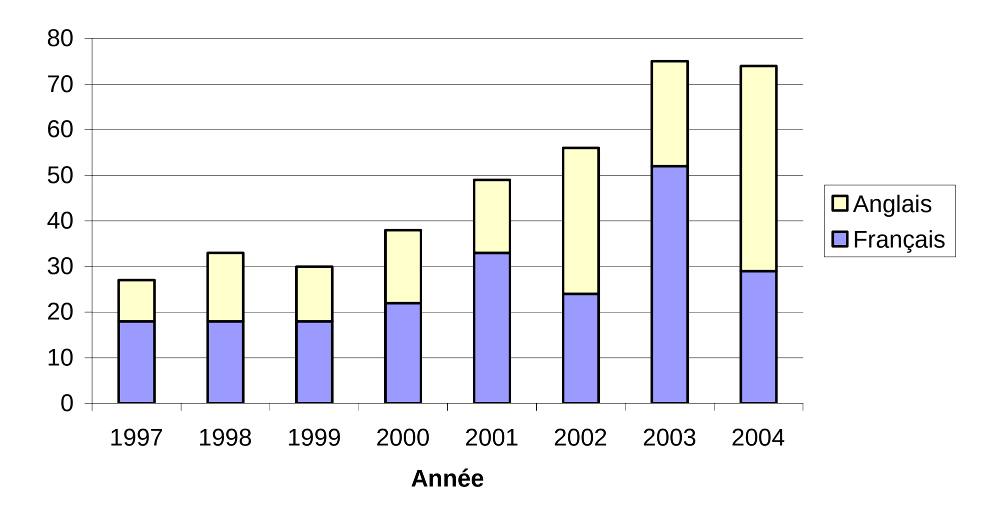


Figure 52. Répartition des publications en langues française et anglaise depuis 1997

la langue française en 2002 et 2004. En 2002, cela s'explique par l'organisation de la conférence NUMGE à Paris et la décision de ne publier dans les actes que des communications en anglais : les onze publications de la division MSRGI ont donc été écrites en anglais. En 2003, l'organisation du congrès européen de Mécanique des sols à Prague nous a conduits à suivre les recommandations du CFMS, qui conseille d'écrire en français. C'est pour cela que la part du français est remontée en 2003. En 2004, il n'y avait pas de congrès soutenu par le CFMS (ou le CFMR ou le CFGI, qui ont la même politique de soutien à la langue française) ; cela explique que la langue anglaise ait repris le dessus.

La volonté existe d'augmenter les publications en anglais, mais il demeure que les comités français liés à la géotechnique (CFMS, CFMR, CFGI) imposent à leur membre de publier en français dans les colloques organisés par les sociétés savantes internationales auxquelles elles sont affiliées. Le français est en effet la seconde langue officielle pour ces séries de congrès. La géotechnique dans son ensemble maintient cette politique de défense de la langue française, et plus largement de la francophonie. Cette politique se traduit également par un engagement et un soutien aux revues scientifiques francophones (Revue Française de Génie Civil, Revue Française de Géotechnique et BLPC). Cela n'empêche pas de publier des communications et des articles en anglais : la valorisation et la diffusion de nos recherches doivent être internationales. Il y a simplement un juste équilibre à trouver pour une large diffusion des résultats de nos recherches en direction de la communauté scientifique internationale et des bureaux d'études et entreprises françaises qui sont nos partenaires « naturels ». La division MSRGI pense être arrivée à un juste équilibre en menant la politique éditoriale décrite précédemment (cf. C1.1).

2.2 Publications et communications

La liste des publications est jointe en annexe. Pour la période 2001-2004, la division MSRGI a publié (ou participé à la publication) de :

- 37 articles dans des revues internationales (hors BLPC) ;
- 15 articles dans le BLPC ;
- 201 communications écrites dans des congrès ;
- 5 articles dans des revues technico-professionnelles ;
- 7 guides techniques et recommandations ;
- 5 actes de conférences internationales.

La figure 53 montre comment se répartissent les articles et les communications en fonction des orientations de la division MSRGI.

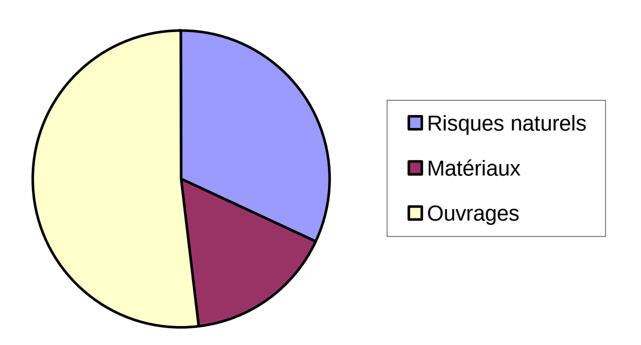


Figure 53. Répartition des articles et communications selon les orientations de la division MSRGI

2.3 Éditions du LCPC

Les documents publiés concernent :
- 7 guides techniques ;
- 5 ERLPC ;
- 5 actes de congrès internationaux (organisés par le LCPC et l'ENPC) ;
- 2 méthodes d'essai.

La liste complète avec les titres est donnée en annexe.

2.4 Littérature non éditée

Mémoires de thèses

Au cours de la période 2001-2004, dix thèses ont été soutenues par des doctorants de la division MSRGI, cinq thèses au LGIT et deux thèses au CERMES (collaboration CERMES-MSRGI). La majorité des doctorants étaient inscrits à l'École Nationale des Ponts et Chaussées.

TH1 Borel S. (2001) *Comportement et dimensionnement des fondations mixtes*. Thèse de l'ENPC, juillet 2001.

TH2 Bultel F. (2001) *Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements de tunnels*. Thèse de l'ENPC, janvier 2001.

TH3 Droniuc N. (2001) *Développements et applications géotechniques du calcul à la rupture par la méthode des éléments finis*. Thèse de l'ENPC, mai 2001.

TH4 Duca V. (2001) *Étude expérimentale des composantes normales des contraintes totales en laboratoire et in situ*. Thèse de l'ENPC, 21 décembre 2001.

TH5 Lussou Ph. (2001) *Calcul du mouvement sismique associé à un séisme de référence pour un site donné avec prise en compte de l'effet de site. Méthode empirique linéaire et modélisation de l'effet non-linéaire*. Thèse de l'UJF, financement IRSN, soutenue le 29 octobre 2001, (P.Y. Bard, Co-Directeur de thèse avec F. Cotton, IRSN).

TH6 Moiriat D. (2001) *Évolution des désordres dans les carrières souterraines abandonnées.* Thèse de l'Université d'Orsay, 30 novembre 2001.

TH7 Cornou C. (2002) *Traitement d'antenne et imagerie sismique dans l'agglomération grenobloise (Alpes Françaises): implications pour les effets de site*, Thèse de l'UJF, financement CNRS (BDI), soutenue le 15 mars 2002, (P.-Y. Bard, Co-Directeur de thèse avec M. Dietrich, LGIT).

TH8 Dimnet E. (2002) *Mouvements et collisions de solides rigides ou déformables*. Thèse de l'ENPC, 16 juillet 2002.

TH9 Beauval C. (2003) *Analyse des incertitudes dans une estimation probabiliste de l'aléa sismique, exemple de la France*. Thèse de l'UJF, financement IRSN/BERSSIN, soutenue le 16 décembre 2003, (P.-Y. Bard, Co-Directeur de thèse avec O. Scotti, IRSN/BERSSIN)

TH10 Kormi T. (2003) *Modélisation numérique du gonflement des argiles non saturées*. Thèse de l'ENPC, décembre 2003.

TH11 Nguyen P. D. (2003) *Modélisation numérique par éléments finis des ouvrages de soutènement*. Thèse de l'ENPC, décembre 2003.

TH12 Kham M. (2004) *Propagation d'ondes sismiques dans les bassins sédimentaires : des effets de site à l'interaction site-ville.* Thèse de l'ENPC, financement LCPC, soutenue le 15 mars 2004, (directeur de thèse P.-Y. Bard, co-encadrement avec J.-F. Semblat)

TH13 Nasreddine K. (2004) *Effet de la rotation des contraintes sur le comportement des sols argileux.* Thèse de l'ENPC, soutenue en mars 2004.

TH14 Ouffroukh H. (2004) *Comportement hydromécanique d'une roche granulaire et localisation des déformations.* Thèse de l'ENPC (collaboration CERMES-MSRGI), soutenue le 1er octobre 2004

TH15 Sèbe O. (2004) *Déconvolution aveugle et sismologie : estimation de la source sismique et des effets de site.* Thèse de l'UJF, financement BDI CEA/CNRS, soutenue le 20 juillet 2004, (directeur de thèse P.-Y. Bard, co-encadrement avec J. Guilbert, CEA/DASE/LDG).

TH16 Bonnefoy-Claudet S. (2004) *Modélisation du bruit de fond sismique et application à l'interprétation des mesures H/V et en réseau.* Thèse de l'UJF, Financement UJF / LCPC / projet SESAME, soutenue le 8 décembre 2004 (directeur de thèse P.-Y. Bard, co-encadrement avec F.Cotton, UJF/LGIT).

TH17 Dunand F. (2005) *Pertinence du bruit de fond sismique pour la caractérisation dynamique et l'aide au diagnostic sismique des structures de génie civil.* Thèse de l'UJF, Financement CIFRE Veritas / CNRS, soutenue le 28 janvier 2005 (directeur de thèse P.-Y. Bard).

UJF = Université Joseph Fourier (Grenoble).

Rapports de stage

45 stagiaires (TFE, DEA, autres stages) ont été accueillis dans la division MSRGI ou au LGIT. En moyenne, on peut estimer qu'une dizaine de stagiaires travaillent chaque année dans la division à Paris. Ils sont issus essentiellement des établissements et des filières dans lesquelles les chercheurs de la division enseignent :

- DEA – Mécanique des Sols, des Roches et des Ouvrages dans leur Environnement (ECP, ENPC, EP, Paris VI), devenu maintenant Mastère MSROE ;
- DEA – Solides, structures et systèmes mécaniques (ENPC) ;
- DESS Génie géologique (Université Paris Sud Orsay) ;
- TFE ENPC ;
- TFE CUST (Clermont-Ferrand) ;
- TFE ENTPE (Lyon) ;
- Stages École Polytechnique ;
- DESS Besançon ;
- Maîtrise Sciences de la Terre.

Chaque stage donne lieu a une soutenance et à la rédaction d'un mémoire. La liste des stagiaires accueillis est donnée en annexe. Ne sont pas comptés les chercheurs étrangers titulaires d'un diplôme (DEA ou thèse) qui ont séjourné dans la division. On peut noter que le DEA MSROE, devenu depuis 2004 Mastère MSROE, dans lequel plusieurs chercheurs de la division MSRGI enseignent, est un partenaire privilégié pour l'accueil des stagiaires. Il constitue également une bonne formation en vue du recrutement de nos futurs doctorants. En effet, certains sujets de DEA peuvent se prolonger en sujets de thèse.

Rapports de contrats

Chaque année, la division MSRGI mène une activité significative en matière de conseil technique, d'expertises et d'essais, en France comme à l'étranger. Il est à noter que ces prestations ont pour leur très grande majorité des retombées scientifiques intéressantes, ne serait-ce que comme source de

données pour la recherche (modélisation, validation, mise au point de méthodes de calcul, etc.) et la réglementation.

Chaque expertise et étude font systématiquement l'objet d'un rapport final. Par exemple, pour chaque étude de fondations, un rapport est remis au client (voir liste des études et expertises réalisées, tableaux 13 à 15). Sur la période 2001-2004, cela représente environ 50 rapports, et une quarantaine de rapports intermédiaires et finaux pour les projets européens.

Rapports internes

Il s'agit de documents, internes au LCPC, destinés aux opérations de recherche dans lesquelles ont été programmées les activités de recherche de la division MSRGI. Ce sont souvent des rapports d'étapes au cours d'une recherche, des versions provisoires de documents en cours de relecture par des experts, des modes d'emploi ou des notices de logiciels, ou encore des comptes-rendus d'essais (interprétés ou non, voire des résultats de mesures). Sur la période 2001-2004, on peut estimer la production plus d'une cinquantaine de rapports. Il est difficile de tenir une liste de ces productions ; seuls les documents finaux sont conservés et archivés. Une liste non exhaustive des rapports internes produits par la division MSRGI est donnée en annexe.

3. Organisation de congrès

Sur la période 2001-2004, la division MSRGI a initié et organisé les conférences internationales suivantes.

- PARAM 2002, symposium international « Identification et détermination des paramètres des sols et des roches pour les calculs géotechniques » (2-3 septembre 2002). Cette manifestation a rassemblé environ 135 ingénieurs et chercheurs. Un volume d'actes de 620 pages a été publié par le LCPC et les Presses de l'ENPC. Ph. Mestat était membre du comité scientifique. S. Borel et Ph. Reiffsteck étaient membres du comité d'organisation.

- NUMGE 2002, 5ème conférence européenne sur les « Méthodes numériques en géotechnique » (« Numerical methods in Geotechnical engineering », 4-6 septembre 2002). Environ 160 ingénieurs et chercheurs ont assisté à cette conférence qui s'est déroulée en deux sessions parallèles. Les actes ont été regroupés dans un volume de 1088 pages, publié par le LCPC et les presses de l'ENPC. Ph. Mestat était le président du comité scientifique et E. Bourgeois était membre du comité d'organisation.

- FONDSUP 2003, symposium international sur les « Fondations superficielles » (5-7 novembre 2003, Paris). Comité scientifique : Ph. Mestat ; comité d'organisation : N. Droniuc. Cette manifestation a rassemblé environ 90 ingénieurs et chercheurs. Un volume d'actes de 488 pages rassemblant les communications a été publié par le LCPC et les Presses de l'ENPC.

- ASEP-GI, symposium international sur « l'Amélioration des sols en place » (9-10 septembre 2004, Paris). Comité scientifique : Ph. Mestat ; comité d'organisation : Ph. Reiffsteck, F. Rocher-Lacoste. Cette manifestation a rassemblé environ 160 ingénieurs et chercheurs. Un volume d'actes de 700 pages rassemblant les communications a été publié par le LCPC et les Presses de l'ENPC.

Il est à signaler qu'un cinquième volume d'actes de 656 pages est paru en décembre 2004 : il regroupe des textes relatifs aux symposiums PARAM 2002, FONDSUP 2003 et ASEP-GI 2004. Ce sont des états des connaissances, des communications tardives et les résultats des deux concours de prévisions organisés à l'occasion des symposiums FONDSUP et ASEP-GI.

De plus, la division MSRGI et le LGIT ont participé à l'organisation des huit conférences suivantes :
- *10ème Conférence internationale Computer Methods and Advances in Geomechanics* (IACMAG, Tucson, janvier 2001). Comité scientifique : Ph. Mestat ;
- *1ère Conférence internationale Albert Caquot* (Paris, septembre 2001). Comité d'organisation : Ph. Mestat ;
- *International Conference on Vibratory Pile Driving and Deep Soil Compaction* (TransVib 2002, 9-10 septembre, Louvain la Neuve, Belgique). Comité d'organisation : S. Borel ;
- *Deep foundation* (Nice, 2001). Comité scientifique : M. Bustamante ;
- *13ème Congrès européen de Mécanique des sols et de géotechnique* (25-28 août 2003, Prague). Au nom de la Commission technique du Comité Français de Mécanique des Sols (CFMS), Ph. Mestat s'est occupé de la mise en forme, de la relecture finale et de l'envoi des 23 communications françaises sélectionnées ;
- *22nd PIARC World Road Congress* (19-25 octobre 2003, Durban). Organisation d'une table Ronde sur les Grands équipements de recherche : A. Maldonado ;
- *13WCEE, session spéciale MTC 15*. A l'occasion de la 13ème conférence mondiale sur le Génie Parasismique (Vancouver, 1-6 août 2004). P.-Y. Bard a organisé une session spéciale intitulée *"Site Characterization for Site Effects Studies Using Ambient Vibrations"*, consacrée en partie à une présentation des résultats du projet SESAME, et pour une autre partie à une présentation des derniers travaux, japonais notamment, dans ce domaine (34 communications en tout) ;
- *ESC2004, session spéciale* (29ème Commission Sismologique Européenne, Potsdam, 12-17 septembre 2004). P.-Y. Bard a co-organisé avec des collègues allemands, italiens et suisses une session spéciale *"Nature of noise wave field and recent developments in microzonation"* (36 communications).

La division MSRGI a organisé les journées SEMPA (Scanning Electron Microscope Philips Association) en mars 2001 au LCPC à Nantes (S. Guédon-Dubied). Ces journées ont rassemblé plus de 70 chercheurs qui utilisent couramment un microscope électronique à balayage.

La division MSRGI et le LGIT ont également participé à l'organisation des sept colloques nationaux suivants :
- 2ème Colloque sur l'Enseignement des Méthodes numériques en génie civil. Rencontres AUGC, Lille (mai 2001). Comité d'organisation : Ph. Mestat (président) ;
- 3ème colloque sur l'Enseignement des Méthodes numériques en génie civil. Rencontres AFGC-AUGC-IREX de Toulouse (30 mai 2002). Comité d'organisation : Ph. Mestat (président) ;
- 4ème colloque sur l'Enseignement des Méthodes numériques en génie civil. Rencontres AUGC (3-4 juin 2003, La Rochelle). Comité d'organisation : Ph. Mestat (président) ;
- *6ème colloque national Génie Parasismique – Aspects dynamiques et vibratoires en génie civil* (1-3 juillet 2003, Palaiseau). Comité scientifique : P.-Y. Bard (président), Ph. Gueguen ; comité d'organisation : P.-Y. Bard ;
- *Journées scientifiques du RAP* (Carry-le-Rouet, mai 2002), organisées par l'équipe RAP LGIT (D. Hatzfeld, F. Cotton, P.-Y. Bard, Ph. Guéguen) ;
- *Journées scientifiques du RAP* (Carry-le-Rouet, 1-3 juin 2004), organisées par l'équipe RAP LGIT (D. Hatzfeld, F. Cotton, P.-Y. Bard, Ph. Guéguen) ;
- *Journée Risque rocheux* (16 avril 2004, Marne-la-Vallée, ENPC). Organisation : A. Pouya et E. Dimnet. Compte tenu du succès de cette journée et de la qualité des présentations, il a été proposé de réaliser un numéro spécial du BLPC en 2005 avec ces communications.

Enfin, la division MSRGI a participé activement à la préparation de quatre conférences internationales et une journée nationale qui auront lieu en 2005 :
- *séminaire LCPC-INERIS* (11 mai 2005) sur le thème de la gestion des risques liés aux carrières souterraines abandonnées. Organisation : Ch. Léonard ;
- *symposium international ISP5-PRESSIO 2005* « 50 ans de pressiomètres » (Marne-la-Vallée, 22-24 août 2005). Comité scientifique : Ph. Reiffsteck. Comité d'organisation : Ph. Mestat, F. Rocher-Lacoste. À ce jour, plus de 100 résumés ont été reçus et environ 30 rapports nationaux

sur l'usage des pressiomètres dans le monde sont en cours de rédaction ;
- *symposium international PARAM 2005* (Marne-la-Vallée, 25-26 août 2005). Comité scientifique : Ph. Mestat, Ph. Reiffsteck. Comité d'organisation : N. Droniuc ;
- *16ème Congrès international de Mécanique des sols et de géotechnique* (13-16 septembre 2005, Osaka). En tant que président de la Commission technique du Comité Français de Mécanique des Sols (CFMS), Ph. Mestat a organisé la sélection des communications françaises pour ce congrès international, leur relecture et l'envoi des 34 communications définitives au comité d'organisation japonais ;
- *symposium international GeoCityNet* (Lille, octobre 2005). Comité scientifique : E. Bourgeois.

4. Productions techniques

4.1. Appareillages

Les appareillages développés au cours de la période 2001-2004 sont les suivants :
- presse biaxiale ;
- appareil triaxial in situ ;
- pressiomètre autoforeur de nouvelle génération.

4.2. Logiciels et composants

Sur la période 2001-2004, les principaux logiciels développés ou perfectionnés ont été les suivants.

- Logiciel de trajectographie STAR3D, capable de simuler les chutes de blocs.

- Logiciel de calcul JSESAME, développé dans le cadre du projet SESAME (2001-2004). Ce logiciel a été réalisé afin de faciliter l'utilisation de la méthode « H/V bruit de fond ». Le manuel d'utilisation et le guide d'interprétation sont également disponibles (MSRGI/LGIT). Il s'agit d'un logiciel multi-plate-forme gratuit. C'est un des produits du projet européen SESAME.

- Logiciel de calcul des pieux vibrofoncés. Bien que réalisé par le LR d'Autun (sous son propre référentiel qualité), ce logiciel s'appuie sur les mesures effectuées par la division MSRGI sur le site de Merville et sur le modèle proposé par l'Institut de Mécanique des Fluides et des Solides, (Strasbourg), dans le cadre du Projet National Vibrofonçage.

Par ailleurs, une réflexion sur une refonte de la présentation des logiciels de géotechnique (PILATE, PIVER, PROSPER, PETAL, CARTAGE, CONMULT) a abouti au lancement d'une consultation pour leur mise à niveau (notamment en matière de convivialité). L'annonce de la consultation est parue dans Le Moniteur, daté du 7 janvier 2005. Les offres sont à remettre avant le 8 mars 2005.

4.3. Progiciel CESAR-LCPC

Sur la période 2001-2004, la division MSRGI a participé au perfectionnement des modules de calcul suivants de CESAR-LCPC dans le domaine de la géotechnique :
- MCNL (Mécanique en Comportement Non Linéaire) ;
- TCNL (Résolution des problèmes de contact entre solides élastoplastiques) ;
- CSNL (Consolidation des Sols saturés à comportement Non Linéaire) ;
- LIMI (calcul de charge limite par une méthode de régularisation viscoplastique) ;
- CSNS (Consolidation des Sols Non Saturés).

Les modules MCNL et TCNL sont dans la version « standard » de CESAR-LCPC et sont largement diffusés dans les milieux universitaires et professionnels. Le module MCNL est le module le plus utilisé par les ingénieurs et les chercheurs. Les autres modules CSNL, LIMI et CSNS sont encore des

versions de recherche et n'ont pas fait l'objet d'une diffusion officielle. Néanmoins, certaines installations ont eu lieu dans le cadre de partenariats. Actuellement, les versions de base des modules de calcul LIMI et CSNL peuvent être considérées comme des produits finis. Il est prévu de les inclure dans la version 4.1 dès 2005, de manière à assurer leur diffusion par la société Itech.

4.4. Sites WEB

Le développement de quatre sites web a été poursuivi et les nouvelles versions 2004 sont en ligne :
- le site web du réseau européen TREE : www.TREE-Transport-Facilites.net (A. Maldonado) ;
- le site web du Réseau Accélérométrique Permanent et de son serveur de données : http://www-rap.obs.ujf-grenoble.fr (Ph. Gueguen et P.-Y. Bard) ;
- le site web du projet SESAME : http://SESAME-FP5.obs.ujf-grenoble.fr (P.-Y. Bard et Ph. Gueguen) ;
- le coin privé de la division MSRGI sur le web du LCPC (versions française et anglaise), (E. Bourgeois, P. Simon).

4.5. Base de données

Les bases de données suivantes ont continué à être développées au cours de la période 2001-2004 et ont été décrites dans les parties précédentes :
- DataRoc (résultats d'essais de mécaniques des roches, 700 fiches de roches) ;
- MOMIS (comparaisons entre résultats de calculs numériques et mesures sur ouvrages in situ, 600 fiches de comparaisons) ;
- base de données de résultats d'essais de pieux selon diverses technologies et dans des sols variés ;
- base de données de résultats d'essais en laboratoire en Mécanique des sols. Cette base est en cours de réorganisation informatique.

5. Études et expertises

5.1. Contrats et expertises

Chaque année, la division MSRGI mène une activité significative en matière de conseil technique, d'expertises et d'essais, en France et à l'étranger. Ces prestations constituent pour leur très grande majorité des sources de données pour la recherche (modélisation, validation, mise au point de méthodes de calcul, etc.) et la réglementation. Les tableaux 13 à 15 présentent la liste des études et des expertises, regroupées en trois familles correspondant aux trois orientations de la division MSRGI.

Pour chaque étude ou expertise, un rapport est remis au client. Sur la période 2001-2004, cela représente environ 50 rapports, et une quarantaine de rapports finaux et intermédiaires pour les projets européens.

5.2. Prestations diverses (pour le réseau des LPC)

Les prestations réalisées à la demande des LRPC concernent essentiellement des études « fines » qui nécessitent la mise en œuvre d'appareillages possédés par la division MSRGI (par exemple : laboratoire de Mécanique des Roches ou des Sols, Microscope Électronique à Balayage) ou la contribution des experts de la division (par exemple : modélisation numérique). La division MSRGI vient alors en appui technique des ingénieurs des LRPC chargés d'une expertise ou d'une étude.

Au cours de la période 2001-2004, aucune prestation n'a donné lieu à facturation. En revanche, plusieurs actions de recherche importantes ont pu être menées grâce aux contacts des LRPC avec des entreprises. Ce fut le cas pour les chantiers suivants : trémie Pasteur à Rouen ; rocade d'Harfleur, mur anti-bruit de l'A4 ; traversée souterraine de Toulon, etc.

Tableau 13. Risques naturels
(J.-L. Durville, P. Potherat, P.-Y. Bard, Ph. Gueguen)

Site	Année	Descriptif sommaire
Boulc-en-Diois (France)	2001	Plan de prévention des risques (PPR) de Boulc-en-Diois (appui au LR de Lyon)
	2001	Etudes de photo-interprétation pour tracés autoroutiers ou risques de mouvements de terrain
Boulc-en-Diois (France)	2002	PPR de la commune de Boulc-en-Diois (DDE de la Drome)
	2002	Etude de stabilité d'une carrière de gypse (DDE de la Côte d'Or)
Nice (France)	2002	Scénario sismique à Nice (LGIT, projet GEMGEP)
Grenoble (France)	2002	Etudes méthodologiques sur l'estimation de la vulnérabilité de quelques bâtiments de classe C et D dans l'agglomération grenobloise (LGIT).
Grenoble (France)	2003	LGIT - Fourniture d'accélérogrammes synthétiques pour les ouvrages d'art de la 3ème ligne de tramway à Grenoble (INGEROP Vienne)
Grenoble (France)	2003	LGIT - Conseil sur la prise en compte des effets de site pour le futur viaduc de Monestier-de-Clermont du tronçon d'autoroute Grenoble Col-du-Fau (ANTEA).

Tableau 14. Pathologie des matériaux
(S. Guédon, A. Le Roux, P. Potherat, J. Gunsett, F. Martineau)

Site	Année	Descriptif sommaire
	2001	Réactivité potentielle aux alcalins des granulats : choix de granulats « sûrs » pour tous types d'ouvrages
Paris (France)	2001	Etudes de la dégradation de pierres de façades (Opéra-Bastille)
Lanzac (France)	2001	Etudes de la dégradation de pierres d'ouvrages d'art (pont de Lanzac)
ENPC (Paris)	2001	Etudes de la dégradation des balustres de la façade de l'ENPC, rue des Saints-Pères
Paris (France)	2001	Etude de carrières françaises et étrangères pour la recherche de pierres de façade pour la réhabilitation de l'Opéra-Bastille
France	2001	Etude du recyclage des ballasts de la SNCF du point de vue microstructural
France, Suisse, Belgique	2001	Essais croisés concernant la norme P18 590 (alcali-réactivité des granulats)
France	2001	Réactivité aux alcalins de fines incorporées dans des bétons
Arabie Saoudite	2002	Identification pétrographique et morphoscopique d'un échantillon de roches prélevé dans un glissement de terrain (colline de Médines, Arabie Saoudite)
Egypte	2002	Détermination de la réactivité potentielle vis-à-vis de l'alcali-réaction selon la norme P18-542. Barrage New Naga Hammadi
Longvic	2002	Etude pétrographique des granulats contenus dans un béton (immeuble à Longvic) – sous-traitance service PCM
Allemagne	2002	Etude pétrographique des granulats contenus dans un béton (chaussée A24) – sous-traitance service PCM
Renwez (08)	2003	Etude minéralogique, mécanique et physique d'échantillons de grès prélevés sur le chantier urbain de Renwez
Paris (France)	2003	Identification pétrographique d'échantillons prélevés sur le site de l'école maternelle Auguste Perret (Paris 13ème, RATP).
Pontreau (44)	2004	Etude mécanique physique et pétrographique d'échantillons de gneiss provenant des carrières de Pontreaux et Maraîchères (44) (expertise du béton du pont de Cheviré)

Tableau 15. Ouvrages complexes : fondations spéciales et autres expérimentations in situ
(M. Bustamante, S. Borel, F. Rocher-Lacoste, S. Amar, B. Doix , L. Gianeselli, S. Mascles)

Site	Année	Descriptif sommaire
	2001	Etude des colonnes sol-ciment avec l'entreprise Keller
Zaventem (Belgique)	2001	Fondations d'un bâtiment de l'OTAN sur la base de Zaventem
Palaiseau (France)	2001	Fondations du centre de recherche Danone de Palaiseau
Merville (France)	2001-2004	Essais de fondation - Projet National Vibrofonçage
Nîmes (France)	2001	Etude du contournement de la RN 106 à Nîmes (LR d'Aix-en-Provence)
(France)	2002-2003	Assistance pour les fondations du Pont de Terenez (CG 29 – LRPC St Brieuc)
Londres (Royaume-Uni)	2002	Essais de fondations sur pieux vissés du TGV CTRL310 dans la banlieue de Londres (Botte Sade, Vinci-Morgan)
Rion-Antirion (Grèce)	2002-2003	Essais des fondations du viaduc d'accès du pont de Rion Antirion (Vinci)
Guinée Conakry	2002-2003	Pont sur la Fatala en Guinée Conakry (Louis Berger SA)
Guinée Bissau	2002-2003	Pont de Jao Landim en Guinée Bissau (Commission Européenne FED)
Besançon (France)	2002	Contournement de la ville de Besançon (DDE du Doubs)
Paris (France)	2002	Réhabilitation du collecteur rive gauche (Mairie de Paris)
Toulon (France)	2002	Essais de boulons pour la traversée souterraine de Toulon (DDE du Var)
Anglet (France)	2003	Pont de L'aveugle à Anglet (Franki Fondation)
Montivilliers (France)	2003	Essais à Montvilliers (Botte Sade Fondation)
Batice (Belgique)	2003	Viaduc du TGV (Batice, Belgique, TucRail)
Dudelange	2003	Essais à Dudelange (Baatz construction)
Cereirede (Portugal)	2004	Station de la Cereirede (Franki Fondations)
Cambrai (France)	2004	Essai de pieux à Cambrai (Franki Fondations)
Marseille (France)	2004	Marseille Grand Littoral (Lesseps Fondations)
Montpellier (France)	2004	Musée Fabre de Montpellier (Frabeltra)
Mexique	2004	Essais de chargement au Mexique (CIMESA)
Argenteuil (France)	2004	Pont d'Argenteuil (Sotraisol)
Merville (France)	2004	Essais de capacité portante de pieux vibrofoncés (projet national Vibrofonçage)
Royaume-Uni	2004	Essais de chargement sur des pieux CFA (Royaume-Uni, Solétanche-Bachy)
Montgeron (France)	2004	Expertise pour le Lycée de Montgeron (Essonne Aménagement)

C2 – Enseignement et stagiaires

L'enseignement et la formation occupent traditionnellement une place importante dans les activités de la division MSRGI, aussi bien au titre de la formation des ingénieurs que du troisième cycle et de la formation continue. Les enseignements sont assurés dans les écoles d'ingénieurs et dans les établissements universitaires. L'accueil et l'encadrement de stagiaires font également partie des missions assurées par la division MSRGI.

1. Enseignement (dont Écoles doctorales)

L'enseignement donné à l'École Nationale des Ponts et Chaussées (formation initiale, 3ème cycle et formation continue), à l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (troisième année à Lyon), à l'École Centrale de Paris (3ème cycle) et dans divers autres établissements, est une activité importante et constante des chercheurs de la division MSRGI. Il s'agit de cours, de travaux dirigés, et d'encadrement de mémoires de TFE, DEA, DESS, etc. Cette activité est également le moyen de diffuser les résultats de nos travaux et aussi de sélectionner des stagiaires et doctorants, voire les futurs ingénieurs et chercheurs des organismes de recherche du Ministère de l'Équipement.

Au total, hors formation continue, la division MSRGI a assuré 530 heures d'enseignement en 2003, 545 heures en 2004. Sont cités dans les paragraphes suivants, tous les agents présents dans la division au cours de la période 2001-2004.

1.1. Formations d'ingénieur

École Polytechnique :
- Module expérimental « Tunnels » : A. Pouya, responsable

Formation d'ingénieur de l'ENPC
- Mécanique des sols et des roches : Ph. Mestat, S. Borel (jusqu'en 2002), Ph. Reiffsteck (depuis 2003), N. Droniuc (depuis 2004), enseignants
- Fondations et soutènements : S. Borel (jusqu'en 2003), enseignant
- Géologie de l'ingénieur : S. Guédon-Dubied, enseignant
- Découvrir une cathédrale : Ph. Mestat, A. Le Roux, S. Gudéon-Dubied, M. Bustamante, Ph. Reiffsteck, enseignants
- Mécanique des milieux poreux : E. Bourgeois (jusqu'en 2002), enseignant
- Mécanique : E. Bourgeois (depuis 2003), enseignant
- Sismologie de l'ingénieur : P.-Y. Bard, enseignant
- DESS Génie parasismique : P.-Y. Bard, enseignant
- Mastère de Génie Civil européen (Mécanique des sols) : N. Droniuc, enseignant

Formation d'ingénieur de l'ENTPE
- Fondations et soutènements : S. Borel (jusqu'en 2003), F. Rocher-Lacoste (depuis 2003), enseignants
- Mécanique des Sols Avancée : Ph. Mestat, S. Borel (jusqu'en 2003), M. Bustamante, Ph. Reiffsteck, F. Rocher-Lacoste (depuis 2004), enseignants
- Mécanique des sols et des roches : N. Droniuc (depuis 2002), enseignant
- Mathématiques appliquées : E. Dimnet (2002-2003), enseignant

Formation d'ingénieur de l'École Centrale de Nantes
- Méthode des éléments finis et modélisation numérique : Ph. Mestat, conférencier invité

Formation d'ingénieur de l'École Centrale de Lille
- Traitement des données en imagerie sismique : C. Léonard, enseignant

Université Joseph Fourier de Grenoble
- Sismologie des mouvements forts : P.-Y. Bard, responsable (jusqu'en 2001)
- Fondations : Ph. Gueguen, enseignant

Université Louis-Pasteur de Strasbourg
- Risque sismique : P.-Y. Bard, enseignant (2001-2003)

Conservatoire National des Arts et métiers
- Granulats : S. Guédon-Dubied, enseignant

1.2. Formations spécialisées de 3ème cycle (DEA, puis Mastère recherche)

Pendant la période 2001-2004, la division MSRGI a continué à s'impliquer fortement dans les DEA MSROE et S3M de la région parisienne. Suite à la réforme « LMD », la réorganisation de 2004 a conduit à regrouper l'enseignement de la recherche en géotechnique dans le seul Mastère MSROE.

DEA S3M – Solides, structures et systèmes mécaniques (ENPC, Univ. Marne-la-Vallée)
- Comportement et modélisation des sols : Ph. Mestat, enseignant (2001-2003)

DEA MSROE – Mécanique des Sols, des Roches et des Ouvrages dans leur Environnement (ECP, ENPC, EP, Univ. Pierre et Marie Curie) jusqu'en 2003
- Éléments finis en comportement non linéaire : Ph. Mestat, professeur
- Interactions sol-structures en statique : Ph. Mestat, professeur
- Mécanique des sols (rhéologie expérimentale) : Ph. Reiffsteck, enseignant
- Mécanique des roches : J.-L. Durville (jusqu'en 2002), professeur
- Fondations : S. Borel (jusqu'en 2002), F. Rocher-Lacoste (depuis 2003), enseignants

Mastère MSROE – Mécanique des Sol, des Roches et des Ouvrages dans leur Environnement (ECP, ENPC, Univ. Pierre et Marie Curie) depuis 2004
- Éléments finis en comportement non linéaire : Ph. Mestat, professeur
- Interactions sol-structures en statique : Ph. Mestat, professeur
- Mécanique des sols (rhéologie expérimentale) : Ph. Reiffsteck, enseignant ;
- Fondations : F. Rocher-Lacoste, enseignant

Cours de l'École Doctorale MODES de l'ENPC jusqu'en 2004
- Calculs 3D des ouvrages de génie civil : Ph. Mestat (professeur), E. Bourgeois, S. Borel, N. Droniuc, Ph. Reiffsteck (enseignants)

1.3. Autres enseignements

École d'Architecture de la Villette
- Utilisation de la pierre en architecture : S. Guédon-Dubied, enseignant

GFZ Postdam (Postdam 2002, 2004 ; Antofagasta, 2001 ; Pretoria, 2003) – International Training Course on Seismology and Seismic Hazard
- Effets de site : P.-Y. Bard, enseignant

Pôle Universitaire Léonard de Vinci
- Calcul scientifique : E. Dimnet (depuis 2004), enseignant

1.4. Formation continue

La division MSRGI a également une forte activité de formation continue en direction du monde industriel (entreprises, bureaux d'études) et des services de l'Etat et des collectivités publiques (services techniques des villes et des régions, etc.). Le plus souvent, la formation est dispensée en collaboration avec Ponts Formation Edition (ENPC). Sur la période 2001-2004, les experts de la division sont intervenus dans 28 stages de PFE et ont animé, coordonné et organisé directement 9 formations, durant deux à cinq jours chacune.

Les formations auxquelles le personnel de la division MSRGI a été amené à participer, comme conférencier ou comme animateur, sont les suivantes. Les conférenciers ou animateurs n'appartenant pas à la division MSRGI ne sont pas cités.

- « Pratique du calcul par éléments finis des ouvrages de génie civil » (Paris, mars 2001). Animateur : Ph. Mestat. Conférencier : Ph. Mestat.
- « Contrôle et réalisation des pieux forés » (Paris, mars 2001). Conférencier : M. Bustamante
- « Utilisation de déchets dans le Génie Civil » (Paris, mars 2001). Conférencier : N.T. Long
- « Applications de la géologie en génie civil » (Grenoble, mai 2001). Conférenciers : J.-L. Durville, A. Le Roux
- « Préservation des fondations anciennes 1 » (Paris, juin 2001). Conférencier : M. Bustamante
- « Concevoir et réaliser des ouvrages en milieu rocheux » (Chambéry, juin 2001). Conférencier : J.-L. Durville
- « Préservation des fondations anciennes 2 » (Paris, septembre 2001). Conférencier : M. Bustamante
- « Les PPR : objectifs, contenu et mise en œuvre » (Paris, octobre 2001). Conférencier : J.-L. Durville
- « Méthodes de calcul de la stabilité des ouvrages en géotechnique » (Paris, novembre 2001). Conférencier : Ph. Mestat
- « La géotechnique et ses applications 2 » (Paris, novembre 2001). Conférencier : J.-L. Durville
- « Ouvrages de protection contre les chutes de blocs et les avalanches » (Grenoble, décembre 2001). Conférencier : J.-L. Durville
- « Géologie de l'ingénieur » (30 septembre au 4 octobre 2002). Conférencier : S. Guédon-Dubied
- « Ingénierie parasismique : notions de base, prévention, applications. Module 1 : Bases de la sismologie de l'ingénieur, de la théorie à la pratique » (17-18 octobre 2002). Conférencier : P.-Y. Bard
- « Utilisation des déchets dans le BTP » (Paris, 21-23 octobre 2002). Conférencier : N.T. Long
- « Suivre et contrôler les travaux liés à la géotechnique » (Paris, 6-8 novembre 2002). Conférencier : M. Bustamante
- « Modélisation numérique des ouvrages géotechniques » (Paris, 18-20 mars 2003). Animateur : Ph. Mestat. Conférenciers : Ph. Mestat, E. Bourgeois
- « Aspect mécanique du matériau pierre » (Paris, mars 2003). Conférencier : S. Guédon-Dubied
- « Fondations et travaux spéciaux : les technologies et leurs limites d'application » (Paris, 20-21 mai 2003). Conférencier : M. Bustamante
- « Essais géotechniques de laboratoire » (Paris, 21-23 octobre 2003). Animateur : Ph. Reiffsteck. Conférencier : Ph. Reiffsteck
- « Géotechnique et ouvrages en site portuaire » (Paris, 26-28 novembre 2003). Conférencier : M. Bustamante
- Cycle « Préservation des fondations des ouvrages et des bâtiments anciens » - Mesurer les risques (Paris, 3-4 février 2004). Animateur : M. Bustamante. Conférencier : M. Bustamante
- « Pratique du calcul par éléments finis en génie civil » (Paris, 9-11 mars 2004). Animateur : Ph. Mestat
- « Méthodes de calcul de la stabilité des ouvrages en géotechnique » (Paris, 24-26 mars 2004). Conférencier : Ph. Mestat
- « Applications des géosynthétiques » (Paris, 4-6 mai 2004). Conférencier : Ph. Reiffsteck

- Cycle « Préservation des fondations des ouvrages et des bâtiments anciens » - Conforter et réparer (Paris, 8-9 juin 2004). Animateur : M. Bustamante. Conférencier : M. Bustamante
- Cycle « Modélisation numérique en géotechnique » - Bases (Paris, 12-14 octobre 2004). Animateur : Ph. Mestat. Conférenciers : Ph. Mestat, E. Bourgeois
- Cycle « Modélisation numérique en géotechnique » - Applications (Paris, 7-9 décembre 2004). Animateur : Ph. Mestat. Conférenciers : Ph. Mestat, E. Bourgeois, N. Droniuc
- « Géologie de l'Ingénieur » (2004). Animateur : S. Guédon-Dubied. Conférencier : S. Guédon-Dubied

Autres formations continues :
- de mars à mai 2001, une formation continue en géologie a été donnée à des agents de la SNCF : une vingtaine de demi-journées de cours et travaux pratiques, une journée de visite sur le terrain (S. Guédon-Dubied, A. Le Roux, P. Pothérat, J.-L. Durville)
- « Microscopie et pierres en œuvre » (SEMPA, mars 2002). Conférencier : S. Guédon-Dubied
- « Microscopie : application à l'étude des roches » (Orsay, novembre 2003). Conférencier : S. Guédon-Dubied
- Séminaire franco-indien (Delhi, Inde, juin 2004). Coopération Routière Franco-Indienne (A. Maldonado, conférencier : L'approche scientifique et technique concernant le Sous-Groupe Techniques Routières, Grands équipements pour l'export).

2. Encadrements de chercheurs et de stagiaires de courte durée

La liste des doctorants accueillis à la division MSRGI sur la période 2001-2004 a été donnée dans les tableau 7a et 7b. Les dix-sept mémoires de thèse publiés ont été cités au § C1.2.4.

L'encadrement de stagiaires dans la division MSRGI a lieu en général de mars à juillet avec l'accueil d'une dizaine d'étudiants chaque année. C'est une activité à part entière dans laquelle les chercheurs permanents et les doctorants s'investissent significativement. Une quarantaine de stagiaires ont ainsi été accueillis dans la division MSRGI au cours de la période 2001-2004. Les stagiaires sont issus principalement des établissements et filières dans lesquelles les chercheurs de la division enseignent :
- Mastère M2 MSROE « Mécanique des Sols, des Roches et des Ouvrages dans leur Environnement » ;
- DESS Génie géologique (Université Paris Sud Orsay) ;
- Ecoles d'ingénieurs (ENTPE, ENPC, CUST) ;
- Stages de l'École Polytechnique, etc.

Chaque stage donne lieu a une soutenance et à la rédaction d'un mémoire. La liste des stagiaires et les sujets de recherche sont donnés en annexe. Le Mastère MSROE (ex DEA) est un partenaire privilégié pour l'accueil des stagiaires et pour le recrutement de futurs doctorants.

3. Accueil de chercheurs étrangers

La division MSRGI a accueilli plusieurs chercheurs et professeurs étrangers venus travailler sur les sujets suivants (le nom du correspondant MSRGI est indiqué entre parenthèses) :
- N. Vallé (Brésil) « Étude expérimentale et modélisation du comportement des matériaux naturels (remblais et éboulis) », thèse Univ. Caen - LR de Rouen (sept. 2000-fév. 2001) (Ph. Reiffsteck) ;
- C. Glynn (Trinity College, Dublin, Irlande, 2001) « Modélisation numérique d'un remblai expérimental » (S. Borel, Ph. Mestat) ;
- S. Marten (Université de Darmstadt, Allemagne, 2001) « Comparaison des normes françaises et allemandes pour le dimensionnement des écrans de soutènement » (S. Borel) ;
- Professeur J.-L. de Justo (Université de Séville, Espagne, 2003) « Fondations profondes : expérimentations et modélisation » (M. Bustamante);

- Professeur R. Gormaz (Université de Santiago, Chili, 2004) « Modélisation des éboulements en masse » (E. Dimnet).

Deux chercheurs étrangers en post-docs ont été accueillis :
- S. Dal Pont (Italie) : « Modélisation du comportement des sols hétérogènes » ;
- F. Elmi (Iran) : « Modélisation numérique des joints rocheux ».

4. Participation à des jurys de thèse

Sur la période 2001-2004, les chercheurs de la division MSRGI ont participé aux jurys de thèse suivants. Entre parenthèses est indiqué le rôle joué dans le jury : directeur de thèse, rapporteur, examinateur.

Ph. Mestat

Charmetton S. (2001) « Renforcement des parois d'un tunnel par des boulons expansifs. Retour d'expériences et études numériques». Thèse de l'Ecole Centrale de Lyon, soutenue le 29 janvier 2001, (Examinateur).

Bennis M. (2002) « Un modèle multiphasique pour le calcul des ouvrages renforcés par inclusions, avec prise en compte de l'interaction matrice/inclusions ». Thèse de l'ENPC, soutenue le 19 septembre 2002, (Examinateur).

Dimnet E. (2002) « Mouvement et collisions de solides rigides ou déformables ». Thèse de l'ENPC, soutenue le 16 juillet 2002, (Examinateur).

Ammiar B. (2003) « Microstructure et effet d'échelle dans les essais de micro-indentation sur les roches ». Thèse de l'ENPC, soutenue le 28 février 2003 (Examinateur).

Chareyre B. (2003) « Modélisation du comportement d'ouvrages composites sol-géosynthétique par éléments discrets – Application aux ancrages en tranchées en tête de talus ». Thèse de l'Université Joseph Fourier, soutenue le 14 décembre 2003, (Rapporteur).

S. Guédon-Dubied

Ouffroukh H. (2004) « Comportement géomécanique d'une roche granulaire et localisation des déformations ». Thèse de l'ENPC, soutenue le 1er octobre 2004, (Examinateur).

Lucot D. (2001) « Étude de la réactivité de six variétés de fines de silice en solution aqueuse basique et au cours de l'hydratation des constituants des ciments Portland ». Thèse de l'Université de Nancy, soutenue en 2004, (Examinateur).

Mohamed I. (2004) « Contribution à l'étude du confinement du béton alcali-réactif par matériaux composites Carbone-Epoxy ». Thèse de l'Université de Lyon I, soutenue en 2004, (Examinateur).

P.-Y. Bard

Rosset Ph. (2001) « Évaluation de l'aléa sismique dans les vallées alpines par des méthodes déterministes ». Thèse Université de Genève, soutenue le 24 avril 2001, (Rapporteur)

Lignier V. (2001) « Les sédiments lacustres et l'enregistrement de la paléosismicité : étude comparative de différents cas dans le Quaternaire des Alpes Nord-Occidentales et du Tien-Shan Kyrghyze ». Thèse Université de Savoie, soutenue le 21 décembre 2001, (Examinateur)

Lussou Ph. (2001) « Calcul du mouvement sismique associé à un séisme de référence pour un site donné avec prise en compte de l'effet de site. Méthode empirique linéaire et modélisation de l'effet non-linéaire ». Thèse Université Joseph Fourier, soutenue le 29 octobre 2001, (Directeur de thèse).

Cornou C. (2002) « Traitement d'antenne et imagerie sismique dans l'agglomération grenobloise (Alpes Françaises) : implications pour les effets de site » Thèse Université Joseph Fourier, soutenue le 15 mars 2002 (Directeur de thèse).

Hans S. (2002) « Auscultation dynamique de bâtiments et modélisation par homogénéisation. Contribution à l'analyse de la vulnérabilité sismique ». Thèse INSA de Lyon / Financement ENTPE, soutenue le 13 décembre 2002, (Rapporteur)

Semblat J.-F. (2002) « Propagation d'ondes sismiques : sols, structures et interactions ». Habilitation à

Diriger des Recherches, soutenue le 13 juin 2002, Université de Marne la Vallée (Examinateur)

Beauval C. (2003) « Analyse des incertitudes dans une estimation probabiliste de l'aléa sismique, exemple de la France ». Thèse Université Joseph Fourier, soutenue le 16 décembre 2003, (Directeur de thèse).

Dubos N. (2003) « Contribution à l'étude du risque sismique dans les Pyrénées centrales ». Thèse Université Paul Sabatier (Toulouse III), soutenue le 29 octobre 2003, (Examinateur).

Havenith H.-B. (2003) “Landslides triggered by earthquakes, Experimental studies in the Tien Shan Mountains (Central Asia), and dynamic modelling”. Doctorat en Sciences Appliquées de l'Université de Liège, soutenue le 7 février 2003, (Rapporteur).

Mora M. (2003) « Étude de la structure superficielle et de l'activité sismique du volcan Arenal, Costa Rica ». Thèse Université de Savoie, soutenue le 11 février 2003, (Rapporteur).

Bonnefoy-Claudet S. (2004) « Modélisation du bruit de fond sismique et application à l'interprétation des mesures H/V et en réseau ». Thèse Université Joseph Fourier, soutenue le 8 décembre 2004 (Directeur de thèse).

Chavez G. (2004) « Application à une ville moyenne d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité au risque sismique. Le cas d'Ensenada (Basse Californie, Mexique) ». Thèse Université Joseph Fourier Grenoble - Géographie, soutenue le 7 mai 2004, (Président).

Kham M. (2004) « Propagation d'ondes sismiques dans les bassins sédimentaires : des effets de site à l'interaction site-ville ». Thèse ENPC, soutenue le 15 mars 2004, (Directeur de thèse).

Mezher N. (2004) « Modélisation numérique et quantification de l'effet sismique site-ville ». Thèse Ecole Centrale de Paris, soutenue le 23 juin 2004, (Président).

Chiroiu L. (2004) « Modélisation des dommages consécutifs au risque sismique. Extension à d'autres risques naturels ». Thèse Université Paris 7, soutenue le 15 janvier 2004, (Rapporteur).

Nazé P.-A. (2004) « Contribution à la prédiction du dommage des structures en béton armé sous sollicitations sismiques ». Thèse INSA Lyon, soutenue en octobre 2004, (Rapporteur).

Roullé A. (2004) « Étude du mouvement sismique dans la vallée de Mexico à partir d'un réseau accélérométrique de faible ouverture dans la Colonia Roma », Thèse Université Louis Pasteur Strasbourg / UNAM Mexico, soutenue en novembre 2004, (Rapporteur).

Sèbe O. (2004) « Déconvolution aveugle et sismologie : estimation de la source sismique et des effets de site ». Thèse Université Joseph Fourier, soutenue le 20 juillet 2004, (Directeur de thèse).

Dunand F. (2005) « Pertinence du bruit de fond sismique pour la caractérisation dynamique et l'aide au diagnostic sismique des structures de génie civil ». Thèse Université Joseph Fourier, soutenue le 28 janvier 2005, (Directeur de thèse).

E. Bourgeois

Nguyen P.D. (2003) « Modélisation numérique des soutènements d’excavation ». Thèse de l’ENPC, soutenue le 23 décembre 2003, (Examinateur).

A. Pouya

Maleki K. (2004) « Modélisation numérique du couplage entre l'endommagement et la perméabilité des roches - Application à l'étude des ouvrages de stockage souterrains (structures et matériaux) ». Thèse de l’ENPC, soutenue le 5 mars 2004, (Directeur de thèse).

Ph. Reiffsteck

Vallé N. (2001) « Comportement mécanique d’un sol grossier d’une terrasse alluvionnaire de la Seine ». Thèse de l’Université de Caen, soutenue le 31 juillet 2001, (Examinateur).

Ramirez R.R. (2003) « Nouveaux regards sur l’essai au plan incliné appliqué au frottement des interfaces géosynthétiques ». Thèse de l’Université Joseph Fourier, soutenue le 24 juillet 2003.

Saadi L.A. (2003) « Méthodologie de contrôle de l’homogénéité et de la perméabilité des barrières argileuses ». Thèse de l’INSA de Lyon, soutenue le 13 octobe 2003 (Examinateur)

Arbaoui H. (2003) « Mesure de la déformabilité des sols en place avec un pénétromètre ». Thèse de l’Université Blaise Pascal, Clermont II, soutenue le 22 décembre 2003, (Examinateur).

Nasreddine K. (2004) « Effets de la rotation des contraintes sur le comportement des sols argileux ». Thèse de l’ENPC, soutenue le 23 février 2004, (Examinateur)

C3 – Administration de la recherche – Animation scientifique et technique

1. Animation du réseau des LPC et administration de la recherche

Pour la période de référence (2001-2004), les agents de la division MSRGI ont exercé une fonction d'animation importante dans le domaine géotechnique et participé activement à l'administration de la recherche de la manière suivante :
- animateur du Conseil Consultatif Sectoriel Géotechnique : Ph. Mestat ;
- animateurs de Comité de Programme : S. Borel (comité J, 2001-2003), P. Pothérat (comité E, 2001-2002), A. Pouya (Comité E, depuis 2003), E. Bourgeois (Comité F, depuis 2004) ;
- responsables d'opérations : P.-Y. Bard (1997-2002), P. Pothérat (1998-2002), S. Borel (1999-2003), E. Bourgeois, Ph. Reiffsteck, Ph. Mestat (2001-2004), A. Pouya (depuis 2003).

Des spécialistes de la division MSRGI animent également des groupes de rédaction de Guides techniques ou de Recommandations LPC et participent à la formation interne des agents des LPC, en particulier lors de Journées techniques du Réseau des LPC :
- journées de formation « Prise de poste » dans les LRPC ;
- journées de Mécanique des sols (Nancy, 2001 ; Rouen, 2004) ;
- journées de Géologie (Ax-les-Thermes, 2004) ;
- journée Risque sismique (Paris, 21 novembre 2003) ;
- journée Risque rocheux (Marne-la-Vallée, 2004) ;
- journées Granulats (Nantes, 2001) ;
- journées Carrières souterraines (Blois, décembre 2004).

L'animation du réseau des LRPC se fait également de façon plus informelle par l'organisation de réunions thématiques ou par l'appui ponctuel apporté dans une étude particulière.

2. Administration de la recherche (hors réseau des LPC)

P.-Y. Bard
- Comité scientifique du PNRN (Programme National sur les Risques Naturels, INSU/PNRN) : jusqu'en 2002
- Conseil d'Administration du Pôle Grenoblois d'Etude et de Prévention des Risques Naturels
- Commission « CSS1 » de l'IRD (Commission Scientifique Sectorielle n°1 de l'IRD, secteur des Sciences physiques et chimiques de l'Environnement planétaire, 2003-2007)
- Comité d'Evaluation du GNDT (Groupe National de Défense contre les Tremblements de Terre, Italie, Protection Civile Italienne, 2000-2004)

Ph. Mestat
- Comité de direction de l'Institut Navier
- Comité d'orientation de l'Institut Navier

3. Participation à des groupes d'experts et des commissions techniques

J. Durville
- Groupe d'experts sur le glissement de La Clapière (06) (1995 – 2001)
- Comité de suivi du Plan de Prévention des Risques des falaises des Gorges du Tarn et de la Jonte (48) (1998 – 2001)
- Groupe de travail n° 1 AFTES « Description des massifs rocheux utile aux travaux souterrains »
- Groupe d'étude et de propositions pour la prévention du risque sismique en France (Conseil Général des Ponts et Chaussées)
- Groupe de rédaction du Guide technique Plan de Prévention des Risques sismiques (direction de

la Prévention de la Pollution et des Risques, Ministère de l'Environnement)

Ph. Mestat
- Comité technique n° 12 de la SIMSGE : « Validation of computer simulation » (1998-2002)
- Groupe de travail de l'AFGC sur la « Mise en œuvre de la qualité dans l'emploi des éléments finis en génie civil » (1992-2002)
- Président du Comité Technique Européen n° 7 de la Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique (SIMSGE) : « Numerical Methods for geotechnical engineering » (1994-2002) ; depuis 2003, « Core member » de ce Comité Technique Européen
- Président de la Commission technique du Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique (depuis 2004)

E. Bourgeois
- Groupe de travail n°29 de l'AFTES « Utilisation des règles et normes en vigueur pour le dimensionnement des revêtements définitifs de tunnels en béton armé et non armé »
- Groupe de travail n°32 de l'AFTES « Prise en compte des aléas géologiques dans les DCE ».

J.S. Guédon-Dubied
- Groupe de travail de la RILEM sur les essais sur béton (TC ARP 191)
- Commission « Pierre – Durabilité » (CEFRACOR)

P.-Y. Bard
- Groupe de rédaction du Guide technique Plan de Prévention des Risques sismiques (direction de la Prévention de la Pollution et des Risques, Ministère de l'Environnement)
- Commission Technique n°4 (TC-4) de la Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique (ISSMGE)
- Commission Technique Européenne n°12 (ETC-12) de la Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique (ISSMGE)
- Groupe de travail "ESG" (Effets de la géologie de surface) commun aux Associations Internationales de Génie Parasismique (IAEE) et de Sismologie et Physique de l'Intérieur de la Terre (IASPEI)

Ph. Guéguen
- Groupe de travail « Vulnérabilité d'ensemble » de l'AFPS.

4. Participation à des comités de rédaction ou de lecture de revues

Certains chercheurs de la division MSRGI et du LGIT participent aux comités de rédaction suivants.

Bulletin of Earthquake Engineering : P.-Y. Bard, membre du comité de lecture.

Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering (Elsevier) : P.-Y. Bard, membre du comité de lecture.

Bulletin of Earthquake Engineering (journal de l'Association européenne de génie parasismique) : P.-Y. Bard, membre du comité de lecture.

Journal of Seismology and Earthquake Engineering (journal iranien à ambition Moyen-orient/Asie Centrale) : P.-Y. Bard, membre du comité de lecture.

Revue française de génie civil : Ph. Mestat, rédacteur en chef adjoint (1997-2004).

Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées : Ph. Mestat, rédacteur en chef adjoint.

Annales du BTP : Ph. Mestat et A. Le Roux, membres du comité éditorial.

Revue française de géotechnique : J.-L. Durville, membre du comité de lecture.

Bulletin de l'AIGI : S. Guédon-Dubied, membre du comité de lecture.

Par ailleurs, en relation avec leurs activités de recherche, les chercheurs de la division MSRGI sont régulièrement sollicités par d'autres revues pour des évaluations de travaux soumis à publication. Les revues concernées sont :
- Computers and Geotechnics
- Int. Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics
- Rilem publications

5. Participation à des comités de normalisation

De façon générale, l'implication de la division MSRGI dans la normalisation en géotechnique a été importante ces dernières années. Malheureusement, suite aux départs de S. Amar, J.-L. Durville, A. Le Roux et S. Borel, les activités de normalisation ont été fortement réduites depuis 2003. Seuls, P.-Y. Bard, S. Guédon-Dubied et Ph. Reiffsteck poursuivent une activité significative.

5.1. Normalisation française

Depuis plusieurs années, la division MSRGI participe à la rédaction de méthodes d'essais et de normes AFNOR relatives à la Géotechnique. Plusieurs commissions de normalisation ont été créées dans le cadre du Bureau de Normalisation Sols et Routes (BNSR), en particulier :
- CN « Granulats » ;
- CN SRE « Sols. Reconnaissance et essais »;
- CN RSI « Renforcement des sols par inclusions »;
- CN « Géosynthétiques » ;
- CN « Justification des ouvrages géotechniques » ;
- CN ETG « Exécution des travaux géotechniques » ;
- CNROC « Mécanique des roches » ;
- CN P 18 B « Béton ».

La Commission de Coordination de la Normalisation en Géotechnique (CCNG) est chargée de coordonner les travaux de ces commissions. Elle est présidée par J.-P. Magnan, le secrétariat a été assuré par S. Amar, jusqu'en 2002. Depuis 2004, la division MSRGI est représentée au sein de ces commissions par S. Guédon-Dubied et Ph. Reiffsteck.

S. Guédon-Dubied a ainsi animé durant l'année 2001 un groupe de travail chargé d'établir un texte traitant de l'essai de performance sur béton. Cette norme porte le numéro NF P 18-454 et le fascicule de documentation le numéro NF P 18-456.

S. Amar a été membre de la Commission générale de Normalisation du Génie Civil, au sein de laquelle est élaborée la politique de la normalisation dans les différents domaines du Génie Civil.

Par ailleurs, P.-Y. Bard a participé au groupe de travail GEPP-CGPC consacré au nouveau zonage sismique de la France. Les travaux se sont achevés en 2004.

5.2. Normalisation européenne

La division MSRGI a été impliquée à plusieurs niveaux :
- S. Amar a participé aux travaux de la commission de coordination des Eurocodes structuraux, où il a représenté la géotechnique française (Eurocode 7), jusqu'en 2002 ;
- CEN/TC 154 Granulats (A. Le Roux, jusqu'en 2002) ;
- CEN/TC 341, S. Amar a longtemps représenté la France au sein de ce comité technique « Reconnaissance et essais ». Depuis 2003, cette activité est progressivement reprise par Ph. Reiffsteck ;
- CEN/TC 189 Géosynthétiques (Ph. Reiffsteck).

5.3. Normalisation internationale

Jusqu'en 2002, S. Amar a représenté le LCPC dans le groupe ISO TC 182 « géotechnique » qui est subdivisé en quatre sous-groupes, notamment :
- SCl : Classification et présentation ;
  - WGl « Identification des sols et des roches » ;
  - WG2 « Classification des sols et des roches »;
- SC3 : Fondations, soutènements et travaux de terrassement.

S. Guédon-Dubied fait partie du groupe RILEM : TC-ARP (191) « Chemical Reactions in Concrete-Assessment, spécifications and diagnosis of Alkali-reactivity » (ex TC 106).

5.4. Actions de certification

La division MSRGI est concernée par la certification des granulats (résidu de son ancienne activité dans le domaine des granulats, etc.). A. Maldonado est le correspondant des auditeurs des Laboratoires des Ponts et Chaussées. À ce titre, il a en charge la représentation technique du Réseau au sein de l'ATCG (Association Technique pour la Certification des Granulats) et la gestion des crédits transitant par le LCPC.

5.5. Normalisation et besoins de recherche

Il sera tôt ou tard nécessaire de s'intéresser à certains domaines actuellement laissés de côté par la réglementation parce qu'on ne sait pas « comment » dimensionner. Pour préparer l'avenir, il est ainsi indispensable de lancer des recherches sur la durabilité des procédés de renforcement des sols, sur le dimensionnement au risque sismique des ouvrages en terre, sur l'effet de la sécheresse, etc. La division MSRGI envisage de faire de telles recherches pourvu que des recrutements soient possibles dans ces nouveaux domaines.

6. Direction de projets

P.-Y. Bard a animé et dirigé le projet européen SESAME (2001-2005).

A. Maldonado a animé et dirigé le projet européen TREE (2001-2004).

Ph. Guéguen est directeur du RAP (Réseau Accélérométrique Permanent), depuis décembre 2004.

P.-Y. Bard a été responsable de l'opération de recherche des LPC « Fonctionnement parasismique » (1997-2002)
S. Borel a été responsable de l'opération de recherche des LPC « Étude de la déformabilité des sols à l'aide d'essais en place » (1999-2003)
E. Bourgeois a été responsable de l'opération de recherche des LPC « Effets des travaux sur le

patrimoine urbain » (2001-2004)

E. Bourgeois est responsable de l'opération de recherche des LPC « Maîtriser les mouvements liés aux travaux urbains » (2005-2008)

Ph. Mestat a été co-responsable, avec L. Thorel (division RMS, Nantes) de l'opération de recherche des LPC « Modélisation numérique et physique du comportement des sols et des roches » (2001-2004)

P. Pothérat a été responsable de l'opération de recherche des LPC « Carrières souterraines abandonnées » (1998-2002)

A. Pouya est responsable de l'opération de recherche des LPC « Risque rocheux » (depuis 2003).

Ph. Reiffsteck est responsable de l'opération de recherche des LPC « Étude des propriétés des sols et des roches » (2001-2005)

7. Autres comités dans le domaine de la gestion de la recherche

Jury du concours de recrutement et comité d'évaluation des chercheurs du Ministère de l'Équipement
Membres au titre d'élus du personnel : A. Maldonado (1995-2003), M. Bustamante (1995-1999), Ph. Mestat (depuis 2004).

Comité qualité du LCPC
Ph. Mestat est membre du Comité qualité du LCPC, depuis sa création.

DIVISION MSRGI

MÉCANIQUE DES SOLS ET DES ROCHES ET GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR

RAPPORT D'ACTIVITÉ (2001-2004)

D – ANNEXES

D1. Liste des publications 127

1. Articles dans des revues à comité de lecture 127
2. Articles soumis à des revues à comité de lecture en 2004 130
3. Articles dans des revues technico-professionnelles 130
4. Livres et chapitres de livres 130
5. Communications avec actes 131
6. Communications rédigées en 2004 et acceptées pour publication en 2005 143
7. Coordination d'un ouvrage collectif 144
8. Mémoires d'Habilitation à Diriger des Recherches 144
9. Autres communications (sans actes) 145
10. Collection Etudes et recherches des LPC 147
11. Méthodes d'essai 147
12. Fascicules réglementaires et guides techniques 147
13. Cours polycopiés 148
14. Rapports internes du LCPC 148

D2. Liste des mémoires de thèse 151

D3. Liste des stagiaires de courte durée 152

D4. Liste des équipements 155

D5. Recommandations du conseil scientifique du LCPC, suite à l'évaluation de la division MSRGI sur la période (1997-2001) 157

D6. Liste des sigles utilisés 159

D1. Liste des publications

1. Articles dans des revues à comité de lecture (articles publiés ou acceptés pour publication)

A1 Al Hallak R. (2001) Étude expérimentale et numérique du renforcement du front de taille par boulonnage dans les tunnels en terrains meubles. *Tunnels et ouvrages souterrains*, n° 163, pp. 25-29.

A2 Bourgeois E., Garnier D., Semblat J.-F., Sudret B., Al Hallak R. (2001) Un modèle homogénéisé pour le boulonnage du front de taille des tunnels : simulation d'essais en centrifugeuse, *Revue Française de Génie Civil*, vol. 5, n°1, pp. 9-38.

A3 Das Neves M., Mestat Ph., Frank R., Degny E. (2001) Étude du comportement de pieux forés – Partie I : Expérimentations in situ et en laboratoire. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 231, pp. 39-54.

A4 Das Neves M., Mestat Ph., Frank R., Degny E. (2001) Étude du comportement de pieux forés – Partie II : Modélisation par éléments finis. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 231, pp. 55-67.

A5 Delattre L., Josseaume H., Mespoulhe L., Delmer Th. (2001) Flexibilité et dimensionnement des écrans de soutènement ancrés, *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 230, pp. 39-56.

A6 Lebrun B., Hatzfeld D., Bard P.Y. (2001) A site effect study in urban area: experimental results in Grenoble (France). *Pageoph*, 158, pp. 2543-2557.

A7 Lussou P., Fukushima Y., Bard P.-Y., Cotton F. (2001) Seismic design regulation codes: contribution of KNET data to site effect evaluation. *Journal of Earthquake Engineering,* 5-1, pp. 13-33.

A8 Mestat Ph., Humbert P. (2001) Référentiel de tests pour la vérification de la programmation des lois de comportement dans les logiciels d'éléments finis. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 230, pp. 23-38.

A9 Mestat Ph. (2001) MOMIS : une base de données sur la modélisation numérique des remblais sur sols compressibles et sur la confrontation calculs - mesures in situ. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 232, pp. 43-58.

A10 Mestat Ph., Bernhardt V. (2001) www.geotechnique.org et la géotechnique sur Internet. *Revue Française de Géotechnique*, n° 94, pp. 59-71.

A11 Mora M.M., Lesage P., Dorel J., Bard P.-Y., Métaxian J.-P., Alvarado G.E., Leandro C. (2001) Study of seismic site effects using H/V spectral ratios at Arenal Volcano, Costa Rica. *Geophys. Res. Letters,* 28-15, pp. 2291-2294.

A12 Duval A.-M., Bard P.-Y., Lebrun B., Lacave-Lachet C., Riepl J., Hatzfeld D. (2001) H/V technique for site response analysis: synthesis of data from various surveys, *Boletin de Geofisica Teorica e Applicata*, 42-3/4, pp. 267-280.

A13 Bettig B., Bard P.-Y., Scherbaum F., Riepl J., Cotton F., Cornou C., Hatzfeld D. (2001) Analysis of dense array noise measurements using the modified SPatial Auto-Correlation method (SPAC). Application to the Grenoble area. *Boletin de Geofisica Teorica e Applicata*, 42-3/4, pp. 281-304.

A14 Potherat P., Alfonsi P. (2001) Les mouvements de versant de Séchilienne (Isère) – Prise en compte de l'héritage structural pour leur simulation numérique. *Revue Française de Géotechnique*, n° 95/96, pp. 117-131.

A15 Bourgeois E. (2002) Analyse numérique tridimensionnelle des tassements provoqués par le creusement d'un tunnel par la méthode du prédécoupage mécanique. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées,* n° 237, pp. 37-57.

A16 El Bied K., Sulem J., Martineau F. (2002) Microstructure of shear zones in Fontainebleau sandstone. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences,* 39, 7, pp. 917-932.

A17 Guéguen Ph., Bard P.-Y., Semblat J.-F. (2002) L'Interaction site-ville – Un nouvel aspect de l'aléa sismique. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées,* n° 236, pp. 17-36.

A18 Gueguen P., Bard P.Y., Chavez-Garcia F.J. (2002) Site-city interaction in Mexico City-Like environments: an analytical study. *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 92 (2), pp. 794-811.

A19 Havenith H.B, Jongmans D., Faccioli E., Abdrakhmatov K., Bard P.-Y. (2002) Site effect analysis around the seismically induced Ananevo rockslide, Kyrgyzstan. *Bull. seism. Soc. Am.,* 92-8.

A20 Mestat Ph., Riou Y. (2002) Modélisation des sols et des ouvrages avec le modèle Cam-Clay modifié. *Revue Française de Génie Civil,* vol. 6, n° 5, pp. 801-815.

A21 Mestat Ph. (2002) Applications de la base de données MOMIS à la validation du calcul des ouvrages souterrains. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées,* n° 236, pp. 59-75.

A22 Mestat Ph. (2002) Informatique et géotechnique. *Géologues*, n° 132, mars 2002.

A23 Parolai S., Bard P.-Y. (2002) Evaluation of amplification and frequency-dependent lengthening of duration of seismic ground motion due to local effects by means Joint Analysis of Sonogram and Standard Spectral Ratio. *Journal of Seismology*, 7, pp. 479-492.

A24 Potherat P., Moiriat D., Alfonsi P., Thorin R. (2002) Stabilité des carrières souterraines abandonnées. Étude et suivi instrumental du laboratoire souterrain de Mériel-Villiers-Adam (Val d'Oise). *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées,* n° 237, pp. 59-75.

A25 Zaré M., Bard P.-Y. (2002) Strong motion data set of Turkey: data processing and site classification. *Soil Dyn. and Earthq. Engng,* 22-8, pp. 703-718.

A26 Beauval C., Bard P.-Y., Moczo P., Kristek J. (2003) Quantification of frequency-dependent lengthening of seismic ground motion duration due to local geology: applications to the Volvi area (Greece). *Bull. seism. Soc. Am*., 93-1, pp. 371-385.

A27 Bourgeois E. (2003) Influence du boulonnage du front de taille d'un tunnel sur les tassements de surface : résultats de simulations numériques tridimensionnelles. *Tunnels et Ouvrages Souterrains*, n° 179, sept.-oct. 2003, pp. 302-306.

A28 Cornou C., Guéguen Ph., Haghshenas E., Bard P.-Y. (2003) Ambient noise energy bursts observation and modeling: trapping of structure-soil harmonic induced-waves in a topmost sedimentary layer, *submitted in Journal of Seismology*.

A29 Cornou C., Bard P.-Y. (2003) Site-to-bedrock over 1D transfer function ratio: An indicator of the proportion of edge-generated surface waves ? *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, n° 9, 1453.

A30 Cornou C., Bard P.-Y., Dietrich M. (2003) Contribution of dense array analysis to basin-edge-induced waves identification and quantification. Methodology (I). *Bull. seism. Soc. Am*., 93-6, pp. 2604-2623.

A31 Cornou C., Bard P.-Y., Dietrich M. (2003) Contribution of dense array analysis to basin-edge-induced waves identification and quantification. Application to Grenoble basin, French Alps (II). *Bull. seism. Soc. Am*., 93-6, pp. 2624-2648.

A32 Durville J.-L., Berthelon J.-P., Trinh Q.V. (2003) Calculs de stabilité des pentes : comparaison entre équilibre-limite et éléments finis dans le cas de ruptures non circulaires. *Revue Française de Géotechnique*, n° 104, pp. 37-46.

A33 Farsi M., Bard P.-Y. (2003) Estimation des périodes propres de bâtiments et vulnérabilité du bâti existant dans l'agglomération de Grenoble. *Revue Française de Génie Civil*, vol. 8, n°2/3, pp. 149-179.

A34 Fouché O., Diebolt J. (2003) Describing the Geometry of 3D Fracture Systems by Correcting for Linear Sampling Bias. *Mathematical Geology*, Kluwer Ed*, in press.*

A35 Garnier D., Sudret B., Bourgeois E., Semblat J.-F. (2003) Ouvrages renforcés : approche par supersposition de milieux continus et traitement numérique. *Revue Française de Géotechnique*, n° 102, 1er trimestre 2003, pp. 43-52.

A36 Guéguen Ph., Bard P.-Y., Chazelas J.-L., Semblat J.-F. (2003) Séismes dans la ville. *Pour la Science*, août 2003, pp. 56-61.

A37 Lesueur D., Guédon-Dubied S., Le Roux A., Odie L., Le Roux C., Such C., Potti J.-J., Castilla J.-F. (2003) Caractérisation de la réactivité des granulats routiers vis-à-vis d'émulsions bitume. I – Analyse pétrographique. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées,* n° 246-247, pp. 5-18.

A38 Mestat Ph., Magnan J.-P., Droniuc N., Humbert P., Berthelon J.-P., Pavlik E. (2003) Étude de la stabilité d'excavations partiellement soutenues. *Studia Geotechnica et Mechanica*, vol. XXV, n° 1-2, pp. 205-213.

A39 Bommer J., Abrahamson N.A., Strasser F.O., Pecker A., Bard P.-Y., Bungum H., Cotton F., Fäh D., Sabetta F., Scherbaum F., Studer J. (2004) The challenge of defining upper bounds on earthquake ground motions. *Seismological Research Letters,* 75-1, pp. 82–95.

A40 Bustamante M., Borel S., Gianeselli L. (2004) An appraisal of the Chin method based on 50 instrumented pile tests. *Ground Engineering*, January, Vol. 37, n°1, pp. 22-26.

A41 Bustamante M., Gianeselli L., Thiriat D. (2004) Portance d'un pieu refoulant, ancré dans un sable. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 250-251, pp. 33-41.

A42 Cornou C., Guéguen Ph., Haghshenas E., Bard P.-Y. (2004) Ambient noise energy bursts observation and modeling: trapping of structure-soil harmonic induced-waves in a topmost sedimentary layer. *Journal of Seismology*, (sous presse).

A43 Dunand F., Meziane Y., Guéguen Ph., Chatelain J.-L., Guillier B., BenSalem R., Hadid M., Hellel M., Kiboua A., Laouami N., Machane D., Mezouer N., Nour A., Oubaiche E.H., Remas A. (2004) Utilisation du bruit de fond pour l'analyse des dommages des bâtiments de Boumerdes suite au séisme du 21 mai 2003. *Mém Serv. Géol. Alg.*, 12, pp. 177-191.

A44 Guillier B., Machane D., Oubaiche E.H., Chatelain J.L., Ait Meziane Y., Ben Salem R., Dunand F., Guéguen Ph., Hadid M., Hellel M., Kiboua A., Laouami N., Mezouer N., Nour A., Remas A. (2004) Résultats préliminaires sur les fréquences fondamentales et les amplifications de sols, obtenus par l'étude du bruit de fond, sur la ville de Boumerdes – Algérie. *Bulletin du Service Géologique d'Algérie*, (sous presse).

A45 LeBrun B., Duval A.-M., Bard P.-Y., Monge O., Bour M., Vidal S., Fabriol H. (2004) Seismic microzonation: a comparison between geotechnical and seismological approaches in Pointe-à-Pitre (French West Indies). *Bulletin of Earthquake Engineering,* pp. 27-50.

A46 Mestat Ph., Bourgeois E., Riou Y. (2004) Numerical modelling of embankments and underground works. *Computers and Geotechnics*, vol. 31, pp. 227-236.

A47 Mestat Ph., Droniuc N., Berthelon J.-P. (2004) Note technique – Étude de la stabilité d'excavations partiellement soutenues. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 249, pp. 101-108.

A48 Mestat Ph., Bourgeois E., Riou Y. (2004) MOMIS : base de données sur la confrontation modèles numériques d'ouvrages – mesures in situ. Applications aux rideaux de palplanches. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 252-253, pp. 49-76.

A49 Nguyen Phuong D., Bourgeois E., Delattre L., Magnan J.P. (2004) Deux applications récentes de la méthode des éléments finis au calcul des écrans de soutènement. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, (sous presse).

A50 Pousse G., Berge-Thierry C., Bonilla F., Bard P.-Y. (2004) Eurocode 8 design response spectra evaluation using the K-Net japanese database. *Journal of Earthquake Engineering,* (sous presse)

A51 Pouya A. (2004) A constitutive inequality in plasticity involving left-hand and right-hand rates. *Int. Journal of Plasticity*, vol. 20, pp. 1251-1279.

A52 Coquillay S., Bourgeois E., Mestat Ph. (2005) Exemples d'utilisation d'un modèle élastoplastique avec élasticité non linéaire pour la modélisation d'ouvrages géotechniques. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, numéro spécial CESAR-LCPC (accepté en 2004, parution 2005).

2. Articles soumis à des revues à comité de lecture en 2004

A53 Droniuc N., Magnan J.-P., Mestat Ph., Humbert P. (2005) La méthode cinématique régularisée appliquée à l'étude de la rupture des ouvrages géotechniques. *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, numéro spécial CESAR-LCPC (parution 2005).

A54 Dimnet E. (2004) Instantaneous collision between a solid and an incompressible fluid discontinuity of the velocities, soumis à *Structural Engineering & Mechanics*.

A55 Guéguen Ph., Bard P.-Y. (2004) Soil-structure and soil-structure-soil interaction: experimental evidence at the Volvi test site, soumis à *Journal of Earthquake Engineering*.

A56 Mestat Ph., Riou Y. (2004) A database for case histories and numerical modelling, soumis à *International Journal on GeoEngineering Case Histories*.

A57 Reiffsteck Ph. (2004) Erosion control of earthworks, soumis à *IRC Highway research board*, Inde.

3. Articles dans des revues technico-professionnelles

TP1 Bustamante M., Borel S., Gianeselli L., Borgato F. (2001) Portance et réalisation de deux ponts sur le haut Niger. *Revue Travaux, numéro spécial Sols et Fondations*, n° 775, mai 2001, pp. 35-41.

TP2 Delfosse F., Eckmann B., Le Roux A., Le Roux C., Odie L., Potti J.-J., Sanchez Polo J. (2001) Caractérisation des granulats vis-à-vis des phénomènes de rupture des émulsions dans les enrobés à froid. *Revue Générale des Routes*, n° 798, septembre 2001, pp. 65-70.

TP3 Guédon-Dubied S., Bugas J.-P., Martineau F., Martinet G. (2004) Préservation du bâti en pierre : stratégie d'investigation à l'échelle du matériau. *Revue Pierre Actual*, n° 809, janvier 2004, pp. 82-93.

TP4 Mestat Ph. (2004) Apports de la modélisation numérique au confortement des ouvrages anciens. *Revue Pierre Actual*, n° 811, mars 2004, pp. 64-74.

TP5 Semblat J.-F., Bard P.-Y., Duval A.-M. (2004) Les effets de site sismiques mieux caractérisés. *R&E (Recherche & Equipement)*, Février 2004, n°2, pp. 22-23.

4. Livres et chapitres de livres

L1 Dimnet E., Frémond M., Gormaz R., San Martin J. (2001) Collisions involving solids and fluids in *Novel approaches in civil engineering*, Springer Verlag, Heildelberg.

L2 Durville J.L., Méneroud J.-P. (2001) Enrochements et stabilité des talus rocheux. Chapitre 8 in *Mécanique des milieux granulaires*, éditions Hermès, pp. 247-257.

L3 Dormieux L., Bourgeois E. (2002) *Introduction à la micromécanique des milieux poreux*. Presses de l'ENPC, 176 p.

L4 Mestat Ph. (2002) Modélisation élastoplastique des sols – Chargements monotones. Chapitre 3 in *Élastoplasticité des sols et des roches - Modèles de comportement des sols et des roches : vol. 1*. Traité de Mécanique et Ingénierie des Matériaux, éditions Hermès et Lavoisier, pp. 91-157.

L5 Bard P.-Y., Chazelas J.-L., Guéguen Ph., Kham M., Semblat J.-F. (2004) Site-City Interaction. Chapter 5 of the book "Assessing And Managing Earthquake Risk [*Geo-Scientific And Engineering Knowledge For Earthquake Risk Mitigation: Developments, Tools And Techniques]* ", C.S. Oliveira, A. Roca and X. Goula Editors, Kluwer (new book series on Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering).

L6 Bard P.-Y. (2004) Sismicité et mouvements sismiques. Chapitre 3 de l'ouvrage « Comportement dynamique du béton et génie parasismique », *Traité Mécanique et Ingénierie des Matériaux*, Editions Hermès-Science.

5. Communications avec actes

C1 Amar S., Canépa Y. (2001) Fondations superficielles – Études expérimentales sous charges statiques et cycliques. *15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Istanbul, vol. 1, Balkema, pp. 641-644.

C2 Bard P.-Y. (2001) Ground motion variability and interpretation of sparse strong motion records, in "Lessons learnt from past eathquakes", pp. 113-116, Proceedings of the *Earthquake Geotechnical Engineering Satellite Conference, 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering,* Istanbul, August 23-25, 2001.

C3 Bard P.-Y., Gueguen Ph., Semblat J.-F., Chavez-Garcia F.J. (2001) Local seismic hazard and site-city interaction. *XIIth Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering,* Philadelphia, October 8-11, 2001.

C4 Borel S. (2001) Calcul des fondations mixtes semelle-pieux sous sollicitation horizontale. *15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Istanbul, vol. 2, Balkema, pp. 847-850.

C5 Bourgeois E., Semblat J.-F., Garnier D., Sudret B. (2001) Multiphase model for the 2D and 3D numerical analysis of pile foundations, *10th International Conference on Computers Methods and Advances in Geomechanics*, Desai et al. (eds), Balkema, pp. 1435-1348.

C6 Bultel F., Leca E., Gaudin B., Magnan J.P. (2001) Mise au point d'une méthode de calcul de revêtements de tunnels en terrain gonflant. *1ère Conférence Internationale Albert Caquot*, Paris, Presses de l'ENPC, Volume sur CD Rom, 8 pages.

C7 Bustamante M., Borel S., Gianeselli L. (2001) Effet du fluage du sol et du béton sur le comportement à long terme d'un pieu battu. *15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Istanbul, vol. 2, Balkema, pp. 855-858.

C8 Dimnet E. (2001) Collisions in systems made of rigid bodies. *3rd Contact Mechanics International Symposium*, Lisbonne, Kluwer Academic Publishers.

C9 Dimnet E. (2001) Theory, experiments and simulation of instantaneous collisions of solids. *2001 DETC*, Pittsburgh, Pennsylvania USA, 9-12 septembre.

C10 Dimnet E. (2001) Simulation numérique de l'évolution de quelques systèmes multi-solides. *Colloquium Lagrangianum*, Le Mont Saint-Michel, 8-10 novembre.

C11 Dimnet E. (2001) Chocs dans les systèmes de solides rigides. *5ème Colloque national en calcul des structures*, 15-18 mai 201, Giens.

C12 Dimnet E. (2001) Simulation numérique de l'évolution des systèmes de solides rigides. *4ème Colloque du Groupe Français de Rhéologie*, Marne-la-Vallée, 8-10 octobre.

C13 Garnier D., Sudret B., Bourgeois E., Semblat J.-F. (2001) Ouvrages renforcés : approche par superposition des milieux continus et traitement numérique, *15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Istanbul, vol. 2, Balkema, pp. 1581-1584.

C14 Le Roux A. (2001) Les mécanismes mis en jeu dans les dégradations dues à l'alcali-réaction. *Séminaire Luso-francès « Dégradations internes des bétons »*, 4-6 décembre 2001, publication LNEC – LCPC.

C15 Le Roux A. (2001) La démarche préventive française vis-à-vis du risque. *Séminaire Luso-francès « Dégradations internes des bétons »*, 4-6 décembre 2001, publication LNEC – LCPC.

C16 Lorenzi G., Guédon-Dubied S., Antenucci D. (2001) The status of the reactive silica in the limestones susceptible to the ASR: contribution of petrographic and SEM techniques. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, édition spéciale Vol. XXXIX., Département de Géologie, Panepistimiopolis, Athènes.

C17 Magnan J.P., Mestat Ph., Reiffsteck Ph., Delattre L. (2001) Une perspective historique sur les modèles utilisés en mécanique des sols. *1ère Conférence Internationale Albert Caquot*, Paris, Presses de l'ENPC, Volume sur CD Rom, (8p.).

C18 Magnan J.P., Droniuc N., Mestat Ph., Canépa Y. (2001) Comparaison des calculs de portance des fondations superficielles. *15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Istanbul, vol. 1, Balkema, pp. 735-738.

C19 Magnan J.P., Bertaina G., Khemissa M., Reiffsteck Ph. (2001) À propos des indices de fluage déterminés à l'œdomètre, *15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Istanbul, vol. 1, Balkema, pp. 203-206.

C20 Maldonado A., Le Roux A., Ben Abdesselam Z. (2001). Temporal model of quarry operation with control of industrial risks and value creation. *Aggregate 2001*, Helsinki.

C21 Mestat Ph. (2001) An overview on 25 years of numerical modeling of test embankments and tunnels. *10th International Conference on Computers Methods and Advances in Geomechanics*, Desai et al. (eds), Balkema, pp. 1521-1526.

C22 Mestat Ph., Riou Y. (2001) Modélisation numérique en géotechnique et mesures sur ouvrages en vraie grandeur – Base de données MOMIS. *1ère Conférence Internationale Albert Caquot*, Paris, Presses de l'ENPC, Volume sur CD Rom, (8p.).

C23 Prat M., Mestat Ph., Riou Y. (2001) Qualité des modèles et assurance qualité des calculs. *1ère Conférence Internationale Albert Caquot*, Paris, Presses de l'ENPC, Volume sur CD Rom, (8p.).

C24 Mestat Ph. (2001) Vérification des résultats des modèles d'éléments finis en géotechnique. *Rencontres du réseau doctoral génie civil et urbain*, 18-19 janvier 2001, Aussois, 10 p.

C25 Mestat Ph., Magnan J.P., Humbert P. (2001) Thésards et CÉSAR : une longue histoire. *Colloque sur l'enseignement des méthodes numériques dans les formations doctorales de génie civil*, Lille-Villeneuve d'Ascq, mai 2001, pp. 466-469.

C26 Mestat Ph., Favre J.L. (2001) DEA MSOE : quelques leçons tirées de l'enseignement de la méthode des éléments finis et des probabilités et statistiques. *Colloque sur l'enseignement des méthodes numériques dans les formations doctorales de génie civil*, Lille-Villeneuve d'Ascq, mai 2001, pp. 441-446.

C27 Mestat Ph., Riou Y. (2001) Modélisation des sols et des ouvrages avec le modèle Cam-Clay modifié. *19èmes*

Rencontres universitaires de génie civil, Colloque Comportement des Ouvrages et Systèmes en Service, Lille-Villeneuve d'Ascq, mai 2001, pp. 28-33.

C28 Reiffsteck Ph., Bourgeois E., Duca V. (2001) Quel type de base de données pour valider les modèles rhéologiques ? *1ère Conférence Internationale Albert Caquot*, Paris, Presses de l'ENPC, Volume sur CD Rom, (8p.).

C29 Reiffsteck Ph., Blivet J.C., Valle N., Khay M. (2001) Écueils de la mesure en laboratoire du comportement mécanique des sols grossiers, *15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Istanbul, vol. 1, Balkema, pp. 255-259.

C30 Riou Y., Mestat Ph., Humbert P. (2001) Référentiel de tests en géotechnique : une nécessité pour la modélisation. *1ère Conférence Internationale Albert Caquot*, Paris, Presses de l'ENPC, Volume sur CD Rom, (8p.).

C31 Alfonsi P., Durville J.-L. (2002) Numerical study of the failure of a pillar of an underground mine. *5th Europ. Conf. on Numerical Methods in Geotechnical Engineering - NUMGE 2002,* Mestat (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 591-596.

C32 Borel S. (2002a) The behaviour and design of piled-raft foundations under lateral loading. *Proceedings of the Deep Foundation Institute Conference,* Nice, pp. 235-242.

C33 Borel S. (2002b) Paramètres de dimensionnement et paramètres de prévision du comportement réel d'un ouvrage : l'exemple des fondations d'un mur anti-bruit. *Symp. Int. PARAM 2002*, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 447-456.

C34 Borel S., Bustamante M., Gianeselli L. (2002) Two comparative field studies of the bearing capacity of vibratory and impact driven sheet piles. *Proceedings International Conference on Vibratory Pile Driving and Deep Soil Compaction TransVib 2002,* Louvain-la-Neuve.

C35 Borel S., Freitag N. (2002) Behavior and numerical analysis of a piled embankment built near a transmission-line tower. *5th Europ. Conf. on Numerical Methods in Geotechnical Engineering - NUMGE 2002,* Mestat (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 429-436.

C36 Borel S., Gianeselli L., Durot D., Vaillant P., Barbot L., Marsset B., Lijour P. (2002) Full-scale behavior of vibratory driven piles in Montoir. *Proceedings International Conference on Vibratory Pile Driving and Deep Soil Compaction TransVib 2002,* Louvain-la-Neuve.

C37 Borel S., Guillaume D. (2002) Present issues of vibratory driving in urban areas. *Proceedings 2nd International Conference on Soil-Structure Interaction in Urban Civil Engineering,* Zurich, vol.1, pp. 165-170.

C38 Bourgeois E. (2002) Three-dimensional finite element analysis of settlements induced by tunnelling : the case of the mechanical precutting technique. *5th Europ. Conf. on Numerical Methods in Geotechnical Engineering - NUMGE 2002,* Mestat (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 561-566.

C39 Bourgeois E., Garnier D., Semblat J.-F. (2002) A 3D homogenized model for the analysis of bolt–reinforced tunnel faces. *5th Europ. Conf. on Numerical Methods in Geotechnical Engineering - NUMGE 2002,* Mestat (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 573-578.

C40 Bourgeois E. (2002) Influence du boulonnage du front de taille d'un tunnel sur les tassements en surface : résultats de simulations numériques tridimensionnelles. *3rd Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, Kastner et al. (eds), Spécifique, pp. 693-698.

C41 Bustamante M., Gouvenot D. (2002) Dimensionnement des colonnes de jet grouting comme élément porteur et d'ancrage. *15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Istanbul, Balkema, vol. 4, pp. 2777-2782.

C42 Bustamante M., Couchard I., Detandt H., Dethy B., Gianeselli L., Borel S. (2002) Foundation behaviour of

a large HST viaduct after a 3 years exploitation. *Proceedings of the Deep Foundation Institute Conference,* Nice, pp. 59-64.

C43 Bustamante M., Gianeselli L., Ferrand D. (2002) Underpinning of a 16th century Cictercian Abbey Foundation. *Proceedings of the Deep Foundation Institute Conference,* Nice, pp. 65-70.

C44 Bustamante M., Gianeselli L., Salvador H. (2002) Double Rotary CFA piles: performance in cohesive soils. *Proceedings of the Deep Foundation Institute Conference,* Nice, pp. 375-382.

C45 Canépa Y., Borel S., Deconinck J. (2002) Détermination de la courbe d'évolution du module de cisaillement d'un sol en fonction de sa déformation à partir d'essais en place. *Symp. Inter. PARAM 2002*, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 25-32.

C46 Dimnet E. (2002) Evolution of systems of multiple solids. *International Conference on Nonsmooth/nonconvex Mechanics with Application in Engineering*, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, july 2002.

C47 Dimnet E. (2002) Numerical simulation of the evolution of systems of multiple solids based on the description of instantaneous collisions. *Fifth World Congress on Computationnal Mechanics*, Vienna, Austria, july 2002.

C48 Droniuc N., Magnan J.-P. (2002) À propos du choix de l'angle de frottement interne pour le calcul des fondations superficielles. *Symp. Inter. PARAM 2002*, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 531-540.

C49 Droniuc N., Magnan J.-P., Humbert P., Mestat Ph. (2002) Bearing capacity of shallow foundations under inclined and eccentric loads. *5th Europ. Conf. on Numerical Methods in Geotechnical Engineering - NUMGE 2002,* Mestat (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 503-512.

C50 Droniuc N., Magnan J.-P., Humbert P., Mestat Ph. (2002) Regularised kinematic analysis of the failure of Sallèdes test embankment, accouting for the effects of groundwater. *5th Europ. Conf. on Numerical Methods in Geotechnical Engineering - NUMGE 2002,* Mestat (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 765-774.

C51 Dunand F., Bard P.-Y., Chatelain J.-L., Guéguen Ph., Vassail T., Farsi M.N. (2002) Damping and frequency from randomdec method applied to in situ measurements of ambient vibrations. Evidence for effective soil structure interaction. *XIIth European Conf. on Earthquake Engineering,* London, September 10-14, (Elsevier Svience Ltd), Paper 869.

C52 Fouché O., Alfonsi P., Durville J.-L. (2002) Des forages à la simulation mécanique des massifs rocheux en génie civil – L'apport d'une approche probabiliste 3D des réseaux de discontinuités. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur,* Nancy, 8-9 octobre 2002, cédérom.

C53 Frih Bengabbou N., Corfdir A., Bourgeois E., Borgne H. (2002) Prise en compte de l'interface sol-ouvrage dans la modélisation numérique : cas de la paroi moulée. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur,* Nancy, 8-9 octobre 2002, cédérom.

C54 Gonin H., Borel S., Le Tirant P. (2002) Le projet national vibrofonçage. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur,* Nancy, 8-9 octobre 2002, cédérom.

C55 Gueguen P., Bard P.Y., Cornou C., Chavez-Garcia F.J. (2002) Site-City Interaction. *7th US National Conference on Earthquake Engineering – Urban Earthquake Risk*, july 21-25, Boston, 182 (actes sur cédérom).

C56 Lacaze C., Favre J.L., Reiffsteck Ph. (2002) Comportement de quelques sols naturels des petites aux grandes déformations : utilisation d'un appareillage adapté. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur,* Nancy, 8-9 octobre 2002, cédérom.

C57 Mestat Ph. (2002) FEM modeling of embedded foundation – Influence of depth on the settlement and the bearing capacity. *Numerical Models in Geomechanics – NUMOG VIII*, Pande and Pietruszczak (eds.),

Rome 10-12 avril 2002, Balkema, pp. 425-430.

C58 Mestat Ph. (2002) DEA MSOE : pratique des exercices, problèmes et contrôles. Cours d'éléments finis en comportement non linéaire et d'Interactions sol-structures en statique. *Colloque sur l'Enseignement des méthodes numériques*, Forum des associations AFGC/AUGC/IREX, 30-31 mai 2002, Toulouse, cédérom.

C59 Mestat Ph. (2002) Numerical and physical modelling. *3rd Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, Kastner et al. (eds), Spécifique, pp. 73-82.

C60 Mestat Ph., Bourgeois E. (2002) Database for finite element prediction and performance – Application to tunnels and retaining structures. *2nd Int. Conf. on Soil Structure Interaction in Urban Civil Engineering*, march 2002, ETH Zurich, Vol. 2, pp. 403-410.

C61 Mestat Ph., Bourgeois E. (2002) Prediction and performance: numerical modeling of sheet pile walls and diaphragm walls. *3rd Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, Kastner et al. (eds), Spécifique, pp. 441-446.

C62 Mestat Ph., Reiffsteck Ph. (2002) Modules de déformation en mécanique des sols : définitions, détermination à partir des essais triaxiaux et incertitude. *Symp. Inter. PARAM 2002*, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 393-400.

C63 Mestat Ph., Riou Y. (2002) Database for class A and C predictions - Comparison between "FEM" results and measurements in excavation problems. *5th Europ. Conf. on Numerical Methods in Geotechnical Engineering - NUMGE 2002,* Mestat (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 703-710.

C64 Mestat Ph., Riou Y. (2002) Application de la base de données MOMIS à l'analyse des valeurs des paramètres introduites dans les calculs par éléments finis. *Symp. Inter. PARAM 2002*, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 401-412.

C65 Nguyen P.D., Bourgeois E. (2002) Chargements sur les revêtements des tunnels liés aux variations de la pression d'eau induites par l'excavation. *3rd Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, Kastner et al. (eds), Spécifique, pp. 131-136.

C66 Reiffsteck Ph., Nasreddine K. (2002) Rotation des contraintes auprès des ouvrages. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur,* Nancy, 8-9 octobre 2002, cédérom.

C67 Reiffsteck Ph., Nasreddine K. (2002) Cylindre creux et détermination de paramètres de lois de comportement des sols. *Symp. Inter. PARAM 2002*, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 303-312.

C68 Reiffsteck Ph., Borel S. (2002), Proposition d'une nouvelle technique d'essai en place : l'appareil triaxial in situ. *Symp. Inter. PARAM 2002*, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 295-302.

C69 Reiffsteck Ph. (2002) Nouvelles Technologies d'essai en mécanique des sols. Etat de l'art. *Symp. Int. PARAM 2002*, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 201-242.

C70 Riou Y., Mestat Ph., Merchichi H. (2002) Modélisation numérique et retour d'expérience sur ouvrages – Développement d'une base de données. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur,* Nancy, 8-9 octobre 2002, cédérom.

C71 Semblat J.F., Kham M., Gueguen P., Bard P.Y. (2002) Site-City Interaction through modifications of site effects. *7th US National Conference on Earthquake Engineering – Urban Earthquake Risk*, july 21-25, Boston, 183 (actes sur cédérom).

C72 Alfonsi P., Fouché O. (2003) Les fondations au rocher : influence de la fracturation sur la répartition des tassements au pied des piles d'un viaduc. *Symposium International sur les fondations superficielles FONDSUP 2003*, Magnan et Droniuc (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 21-28.

C73 Alfonsi P., Fouché O., Savajol A. (2003) La modélisation numérique des massifs rocheux pour le Génie civil. *Journées des Sciences de l'Ingénieur*, Dourdan (Essonne), France, 9-11 décembre 2003, pp. 547-552.

C74 Bard P.-Y., Haghshenas E., Jafari M., Hatzfeld D. (2003) Preliminary results of site effects assessment in the city of Tehran (Iran) using earthquake and microtremor recording. *4th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, Tehran, mai 2003.

C75 Bard P.-Y. Dunand F., Guéguen Ph., Chatelain J.-L., Guillier B., Vassail T. (2003) Caractérisation du comportement dynamique des sols et structures par mesures de vibrations ambiantes : développements récents et questions en suspens. *Colloque International « Risque, Vulnérabilité et Fiabilité dans la Construction »,* 11-12 octobre 2003, Alger, 15 p.

C76 Bonnefoy-Claudet S., Cornou C., Fäh D., Bard P.-Y., Wathelet M., Ohrnberger M. (2003) Modélisation numérique du bruit de fond sismique : implication pour déterminer la nature du bruit. *6ème Colloque national AFPS03*, Ecole Polytechnique ed., Paris, vol. 1, pp. 201-208.

C77 Borel S., Reiffsteck Ph., Bourgeois E. (2003) La réduction des déplacements latéraux du sol au voisinage d'un remblai sur pieux : une étude paramétrique en vraie grandeur. *13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Prague, août 2003, vol. 2, pp. 57-64.

C78 Bourgeois E., Borel S. (2003) Modélisation numérique des fondations de la rocade d'Harfleur par une méthode d'homogénéisation. *Symposium International sur les fondations superficielles FONDSUP 2003*, Magnan et Droniuc (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 81-88.

C79 Bustamante M., Gianeselli L., Seher W. (2003) Étude expérimentale du comportement de colonnes de chaux-ciment. *13ème congrès régional européen de la Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique,* Marrakech, 8-11 décembre 2003.

C80 Bustamante M., Gianeselli L., Borgato F., Cheikh Ould Sid'Ahmed (2003) La réhabilitation du wharf de Nouakchott. *13ème congrès régional d'Afrique de la Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique,* Marrakech, 8-11 décembre 2003.

C81 Bustamante M., Borel S., Gianeselli L., Borgato F., Cesaroni F., Boato R., Sembenelli P. (2003) Les fondations des ponts sur la Fatala et la Tibola : conception et réalisation. *13ème congrès régional d'Afrique de la Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique*, Marrakech, 8-11 décembre 2003.

C82 Bustamante M., Borel S., Gianeselli L., Borgato F., Cesaroni F., Boato R., Sembenelli P. (2003) Le contexte géotechnique et le projet de fondation : cas de deux ouvrages en Guinée Conakry. *Symposium International sur les fondations superficielles FONDSUP 2003*, Magnan et Droniuc (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 95-110.

C83 Bustamante M. (2003) Auger and Bored pile construction monitoring and testing, Theme lecture. *4th International Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles*, Ghent, Belgium, Millpress, Rotterdam, pp. 27-41.

C84 Bustamante M., de Justo (2003) Pathologie des fondations superficielles et travaux de réparation. *Symposium International sur les fondations superficielles FONDSUP 2003*, Magnan et Droniuc (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, vol. 2, 45 p.

C85 Chazelas J.-L., Guéguen Ph., Bard P.-Y., Semblat J.-F. (2003) Modélisation de l'effet site-ville en modèle réduit centrifugé – Validation des techniques expérimentales. *6ème Colloque national AFPS03*, Ecole Polytechnique ed., Paris, vol. 1, pp. 245-252.

C86 Combescure D., Guéguen Ph. (2003) Vulnérabilité du bâti existant. Quelques réflexions sur les méthodes d'estimation de la vulnérabilité à grande échelle. *6ème Colloque national AFPS03*, Ecole Polytechnique ed., Paris, vol. 3, pp. 137-144.

C87 Coquillay S., Bourgeois E., Mestat Ph. (2003) Couplage élasticité non linéaire - plasticité pour le calcul des fondations superficielles expérimentales de Labenne. *Symposium International sur les fondations*

superficielles FONDSUP 2003, Magnan et Droniuc (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 163-170.

C88 Coquillay S., Bourgeois E. (2003) Prise en compte de l'évolution du module de cisaillement des sols pour le calcul des ouvrages. *Journées des Sciences de l'Ingénieur*, Dourdan (Essone), France, 9-11 décembre 2003, LCPC, pp. 373-378.

C89 Dimnet E., Frémond M., Gormaz R., San Martin J. (2003) Collisions of rigid bodies, deformable bodies and fluids. *Second M. I. T. Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics*, Boston, 2003, 5 p.

C90 Dimnet E. (2003) La méthode des percussion, une nouvelle méthode numérique de calcul du comportement des systèmes de solides. *6ème Colloque national en Calcul des Structures*, Giens, 2003.

C91 Droniuc N., Bourgeois E. (2003) Estimations numériques de la capacité portante d'une fondation à proximité de l'intersection de deux talus. *Symposium International sur les fondations superficielles FONDSUP 2003*, Magnan et Droniuc (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 193-200.

C92 Droniuc N., Magnan J.-P., Droniuc Kh., Puech A. (2003) Calcul des ancres à succion par la méthode cinématique régularisée. *Symposium International sur les fondations superficielles FONDSUP 2003*, Magnan et Droniuc (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 201-216.

C93 Droniuc N., Magnan J.-P. (2003) Portance des semelles en bord de talus. *13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Prague, août 2003, vol. 2, pp. 119-126.

C94 Duca V., Delattre L., Reiffsteck Ph., Magnan J.-P. (2003) Comportement observé d'une paroi moulée en milieu urbain. *13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Prague, août 2003, vol. 2, pp. 127-132.

C95 Dunand F., Bard P.-Y., Duval A.M., Guéguen Ph., Vidal S. (2003) Périodes et amortissement des bâtiments niçois à partir d'enregistrements de bruit de fond. *6ème Colloque national AFPS03*, Ecole Polytechnique ed., Paris, vol. 1, pp. 291-298.

C96 Dunand F., Bard P.-Y., Guéguen Ph., Chatelain J.-L., Pilot B., Vassail T. (2003) Auscultation dynamique d'un bâtiment : Comparaisons séismes / bruit de fond et avant / après travaux. *6ème Colloque national AFPS03*, Ecole Polytechnique ed., Paris, vol. 2, pp. 145-152.

C97 Dunand F., Bard P.-Y., Guéguen Ph., Chatelain J.-L., Vassail T. (2003) Caractérisation du comportement dynamique des sols et structures par mesures de vibrations ambiantes : Développements récents et questions en suspens. *Journée d'étude Φ^2AS*.

C98 Evers G., Hass G., Frossard A., Bustamante M., Borel S., Skinner H. (2003) Comparative performances on continuous flight auger and driven cast in place piles in sands. *4th International Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles*, Ghent, Belgium, Millpress, Rotterdam, pp. 137-144.

C99 Fernandes I., Noronha F., Guédon-Dubied S., Teles M. (2003) Petrographic analysis of hardened concrete with granitic aggregates. *9th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials,* Trondheim, septembre 2003, cédérom, 14 p.

C100 Fouché O., Savajol A., Monin N., Fabre D., Pouya A. (2003) Assessment of free ground water hazard in tunnelling: use of stochastic fracture network simulation and homogenisation. *Groundwater in fractured Rocks,* IAH International Conference, Prague, Rép. Tchèque, 15-19 septembre 2003.

C101 Frih N., Corfdir A., Bourgeois E. (2003) Choix des conditions aux limites pour le calcul d'une excavation. *16ème Congrès Français de Mécanique*, Nice.

C102 Guédon-Dubied S., Bigas J.-Ph., Martineau F., Martinet G. (2003) Préservation du bâti en pierre : stratégie d'investigation à l'échelle du matériau. *Colloque AFGC - Environnement et patrimoine : les nouvelles*

donnes, GC'2003, Paris, 18 p.

C103 Guéguen Ph., Cornou C., Bard P.-Y., Dunand F. (2003) Origine des bouffées haute énergie observées sur le bassin de Grenoble. *6ème Colloque national AFPS03*, Ecole Polytechnique ed., Paris, vol. 1, pp. 211-220.

C104 Haghshenas E., Bard P.-Y., Jafari M.K., Hatzfeld D. (2003) Effets de site et risque sismique à Téhéran : premiers résultats d'une étude expérimentale. *6ème Colloque national AFPS03*, Ecole Polytechnique ed., Paris, vol. 1, pp. 173-180.

C105 Kham M., Semblat J.-F., Bard P.-Y., Guéguen Ph. (2003) Etude de l'interaction site-ville à l'aide d'un modèle de ville simplifié basé sur la méthode des éléments de frontière. *6ème Colloque national AFPS03*, Ecole Polytechnique ed., Paris, vol. 1, pp. 229-236.

C106 Kormi T., Magnan J.-P. (2003) Analyse numérique de la vidange d'une colonne de sol par un modèle élastoplastique (expérience de Liakopoulos). *Journées des Sciences de l'Ingénieur*, Dourdan (Essonne), France, 9-11 décembre 2003, LCPC, pp. 409-413.

C107 Maldonado A., Garnier J., Kovarik K., Bujnak J. (2003) TREE et INTRANSNET : deux projets européens et un réseau commun de recherche au service de la géotechnique, du génie civil et des transports. *13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Prague, août 2003, vol. 2, pp. 951-956.

C108 Maldonado A., Clément M., Le Roux A. (2003) Quality mark – Environmental accountancy – Sustainable development – Quarry applications. *International Symposium Industrial Minerals and Building Stones*, IAEG, Istanbul, septembre 2003, 8 p.

C109 Maldonado A. (2003) Competitiveness of TREE network, Round Table. *XXIInd PIARC World Road Congress*, 19-25 Octobre 2003, Durban, Afrique du Sud.

C110 Maldonado A., Mestat Ph. (2003) The modelling function of research facilities dedicated to civil engineering and transportation applications. *XXIInd PIARC World Road Congress*, 19-25 Octobre 2003, Durban, Afrique du Sud.

C111 Maldonado A., Lebechec J. (2003) Measurement and testing. *XXIInd PIARC World Road Congress*, 19-25 Octobre 2003, Durban, Afrique du Sud.

C112 Maleki K., Pouya A., Courtois A., Su K. (2003) Modélisation numérique du couplage entre l'endommagement et la perméabilité des argiles raides. *16ème Congrès Français de Mécanique (CFM2003)*, Nice, 1-5 septembre 2003.

C113 Maleki K., Pouya A. (2003) Numerical modelling of damage and permeability in claystone. *5th EuroMech Solid Mechanics Conference ESMC-5*, Thessalonique, Grèce, août 2003.

C114 Marten S., Bourgeois E., Jeanty J.M. (2003) Comportement tridimensionnel d'une paroi circulaire à Nantes : observations et modélisation numérique. *Journées des Sciences de l'Ingénieur*, Dourdan (Essonne), France, 9-11 décembre 2003, LCPC, pp. 559-564.

C115 Mestat Ph., Bourgeois E., Riou Y. (2003) Retours d'expérience et performances des modèles de remblais. *13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Prague, août 2003, vol. 1, pp. 821-826.

C116 Mestat Ph., Riou Y., Humbert P. (2003) Modélisation numérique des fondations superficielles : un outil pédagogique et un thème de recherche très actuel. *Symposium International sur les fondations superficielles FONDSUP 2003*, Magnan et Droniuc (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 353-360.

C117 Mestat Ph., Riou Y. (2003) Validation des modèles numériques et expérimentations de fondations superficielles. *Symposium International sur les fondations superficielles FONDSUP 2003*, Magnan et

Droniuc (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 345-352.

C118 Nguyen P.D. (2003) Analyse numérique couplée de la construction du quai en eau profonde du port de Calais : influence des hétérogénéités de perméabilité. *2ème Conférence internationale des jeunes géotechniciens YGEC*, Mamaia.

C119 Nguyen P.D., Bourgeois E. (2003) Modélisation numérique couplée de la construction du quai en eau profonde du port de Calais. *16ème Congrès Français de Mécanique*, Nice.

C120 Pothérat P., Le Roux A., Guédon-Dubied S. (2003) Microstructures and evolution of limestone slabs used in building façades cladding. *International Symposium Industrial Minerals and Building Stones*, IAEG, Istanbul, septembre 2003, 9 p.

C121 Pouya A. (2003) Anisotropies de Saint-Venant en élasticité linéaire. *6ème Congrès Marocain de Mécanique*, Tanger, 15-18 avril 2003.

C122 Pouya A., Reiffsteck Ph. (2003) Solutions fondamentales pour fondations sur sols élastiques anisotropes. *Symposium International sur les fondations superficielles FONDSUP 2003*, Magnan et Droniuc (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 415-422.

C123 Reiffsteck Ph. (2003) Géosynthétiques et contrôle de l'érosion. *13rd Regional conference for Africa*, Marrakech, 8-11 décembre 2003.

C124 Reiffsteck Ph. (2003) Rotation des contraintes et comportement des sols autour des fondations superficielles. *Symposium International sur les fondations superficielles FONDSUP 2003*, Magnan et Droniuc (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 441-454.

C125 Reiffsteck Ph., Robinet A. (2003) Géosynthétiques et érosion de surface. *5ème Rencontres Francophones Géosynthétique*, Colmar, novembre 2003.

C126 Reiffsteck Ph., Reverdy G. (2003) Presentation of a new soil investigation technique: the in situ triaxial test. *Int. Symp. on Geotechnical Measurements and Modelling*, Natau et al. (eds), Balkema, pp. 375-380.

C127 Riou Y., Mestat Ph., Kudella P., von Wolffersdorff P. (2003) A database for the performance of numerical modelling of retaining wall. *Int. Symp. on GeoTechnical Measurements and Modelling*, Natau et al. (eds), Balkema, pp. 483-488.

C128 Riou Y., Mestat Ph. (2003) Benchmarking in embankment on soft soils : preliminary inventory results. *Int. Workshop on Geotechnics of Soft Soils-Theory and Practice*. Vermeer, Schweiger, Karstunen et Cudny (eds.), sept. 2003, The Netherlands, 6 p.

C129 Riou Y., Mestat Ph., Prat M. (2003) Overview of the teaching of numerical methods in the French Civil Engineering Education. *Int. Cong. in Civil Engineering Education*, 18-20 sept. 2003, Ciudad Real, Spain, 10 p.

C130 Sèbe O., Bard P.-Y., Guilbert J. (2003) Estimation des effets de site par déconvolution aveugle multicanaux - Application aux données accélérométriques en forage de Garner Valley. *6ème Colloque national AFPS03*, Ecole Polytechnique ed., Paris, vol. 1, pp. 157-164.

C131 Semblat J.-F., Kham M., Guéguen Ph., Bard P.-Y. (2003) Interactions sismiques à grande échelle en milieu urbain. *13th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Prague, août 2003, vol. 2, pp. 371-376.

C132 Wyniecki P., Guéguen Ph., Bard P.-Y., Lefur H. (2003) Outils d'identification de la typologie du bâti urbain : apports du couplage entre cartographie numérique et imagerie aérienne et vidéo. *6ème Colloque national AFPS03*, Ecole Polytechnique ed., Paris, vol. 3, pp. 161-168.

C133 Alfonsi P., Potherat P. (2004) Apport de la modélisation numérique au diagnostic de stabilité des carrières

souterraines. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie, JNGG,* Lille, pp. 305-313.

C134 Alfonsi P., Durville J.-L., Pothérat P. (2004) The morphology of deep-seated slope deformations : simple explanations or sophisticated interpretations ? *9ème Symp. Int. sur les Glissements de terrain*, Rio de Janeiro.

C135 Alfonsi P., Fouché O. (2004) Fondations au rocher : influence des fractures sur les tassements au pied des piles d'un viaduc. *Colloque international de Géotechnique*, Beyrouth, 19-22 mai 2004, pp. 553-558.

C136 Alfonsi P., Fouché O., Bourgeois E. (2004) A method of statistical reconstruction of the fractures network for numerical studies of rock foundation. *Numerical Models in Geomechanics, NUMOG IX*, Pande & Pietruszczak (eds.), Balkema, pp 257-263.

C137 Alfonsi P., Fouché O., Bourgeois E. (2004) Foundations on rock: effect of rock fractures on settlement of bridge piers. *1st Symp. Int. UDEC/3DEC Numerical Modeling of discrete materials*, Konietzky (ed), pp. 257-262.

C138 Atakan K., Duval A.-M., Theodulidis N., Bard P.-Y. and SESAME-Team (2004) On the reliability of the H/V Spectral Ratio Technique. *ICSDEE & ICEGE 2004 (Berkeley),* CA, USA.

C139 Atakan K., Duval A.-M., Theodulidis N., Guillier B., Chatelain J.-L., Bard P.-Y. and SESAME-Team (2004) The H/V spectral ratio technique: experimental conditions, data processing and empirical reliability assessment. *13th World Conference on Earthquake Engineering,* Vancouver, August 2004, Paper 2268.

C140 Atakan K., Bard P.-Y., Kind F., Moreno B., Roquette P., Tento A. and SESAME-Team (2004) J-SESAME: a standardized software solution for the H/V spectral ratio technique. *13th World Conference on Earthquake Engineering,* Vancouver, August 2004, Paper 2270.

C141 Bard P.-Y. and SESAME participants (2004) The SESAME project: an overview and main results. *13th World Conference in Earthquake Engineering*, Vancouver, August 2004, Paper 2207.

C142 Berge-Thierry C., Fels J.F., Dervin P., Guéguen Ph., Nechtschein S., Hatzfeld D., Volant P., Bard P.-Y., Courboulex F., Dominique P., Feignier B. (2004) The French permanent Accelerometric Network: technological and parametrical choices, scientific goals and results. *Workshop on strong motion record processing (COSMOS)*, Richmond, CA, USA, May 26-27.

C143 Bonnefoy-Claudet S., Cornou C., Kristek J., Ohrnberger M., Wathelet M., Bard P.-Y., Fäh D., Moczo P., Cotton F. (2004) Simulation of seismic ambient noise: I H/V and array techniques on canonical models. *13th World Conference on Earthquake Engineering,* Vancouver, Canada, August 2004, Paper 1120.

C144 Bourgeois E., Mestat Ph., Marten S., Duy N.P., Delattre L. (2004) Retours d'expérience concernant la modélisation numérique des parois moulées par éléments finis. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie, JNGG,* Lille, 28-30 juin 2004, pp. 45-52.

C145 Bustamante M., Reiffsteck Ph. (2004) A review of recent bridge foundation: french experience. *Krynica* (Pologne), vol.1., pp. 29-52.

C146 Coquillay S., Bourgeois E., Serratrice J.-F. (2004) Influence of elastic non-linearities on the computed efficiency of bolt-reinforcement of tunnel walls. *Numerical Models in Geomechanics, NUMOG IX*, Pande & Pietruszczak (eds.), Balkema, pp. 439-444.

C147 Cornou C., Kristek J., Bonnefoy-Claudet S., Fäh D., Bard P.-Y., Moczo P., Ohrnberger M., Wathelet M. (2004) Simulation of seismic ambient vibrations: II. H/V and array techniques for real sites. *13th World Conference on Earthquake Engineering,* Vancouver, Canada, August 2004, Paper 1130.

C148 Cravoisier S., Garambois S., Guéguen Ph., Marand A., Monnet J. (2004) Combined geophysical and seismological experiments on a landslide developping in varved clay. *Conf. European Geophysical Union,* Nice, France, April 25-30, paper EGU04-A-04065.

C149 Dhouib A., Bourgeois E., El Jouhari K., Leroi B. (2004) Comportement des semelles sur colonnes

ballastées. *Symposium international sur l'amélioration des sols en place ASEP-GI 2004*, Dhouib et al. (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 115-130.

C150 Dimnet E. (2004) Instantaneous collisions in incompressible fluids: theory and applications. *European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, 4th ECCOMAS*, Neittaanmäki et al (eds.), Jyväskylä, Finland, 24 - 28 July 2004.

C151 Dimnet E., Gormaz R. (2004) Discontinuity of the velocity in an incompressible fluid due to a collision. *3rd Int. Conf. on Advances in Structural Engineering and Mechanics*, ASEM 2004, Seoul, Korea, September 2-4, 2004.

C152 Dimnet E. (2004) Collision in an incompressible fluid. *6th World Congress on Computational Mechanics WCCM VI in conjunction with APCOM'04*, Sept. 5-10, 2004, Pekin, China.

C153 Droniuc N., Magnan J.-P., Al Hallak R. (2004) The stability of tunnel face accounting for the effects of groundwater. *Numerical Models in Geomechanics, NUMOG IX*, Pande & Pietruszczak (eds.), Balkema, pp. 433-438.

C154 Droniuc N., Magnan J.-P., Droniuc Kh., Puech A. (2004) Finite element analysis of the pull-out capacity of suction anchors. *Numerical Models in Geomechanics, NUMOG IX*, Pande & Pietruszczak (eds.), Balkema, pp. 535-540.

C155 Droniuc N., Magnan J.-P. (2004) Portance et tassements des fondations superficielles : présentation des résultats du concours de prévisions. *Symposium International sur les Fondations Superficielles*, FONDSUP, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, vol. 2., pp. 401-416.

C156 Droniuc N., Magnan J.-P., Mestat Ph., Bourgeois E., Humbert P. (2004) FONDSUP2003 : calculs de prévision de capacité portante et de tassements. *Symposium International sur les Fondations Superficielles*, FONDSUP, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, vol. 2., pp. 439-446.

C157 Dunand F., Bard P.-Y., Chatelain J.-L., Gueguen Ph. (2004) Evidence of Soil-Structure Interaction from ambient vibrations - Consequences on design spectra. *Third Joint United States-Japan Workshop on Soil-Structure Interaction,* March 29-30, 2004, Vallombrosa Center in Menlo Park, California.

C158 Duval A.-M., Chatelain J.-L., Guillier B. and SESAME WP02 Team (2004) Influence of experimental conditions on H/V determination using ambient vibrations (noise). *ICSDEE & ICEGE 2004 (Berkeley), CA, USA.*

C159 Frih N., Corfdir A., Bourgeois E., Eddahak A. (2004) Modélisation de la réalisation d'un panneau de paroi moulée. *Rencontres Universitaires de Génie Civil*, AUGC, Marne-la Vallée.

C160 de Gennaro V., Said I., Frank R., Mestat Ph. (2004) Numerical simulations of installation effects on embedded model piles. *Numerical Models in Geomechanics, NUMOG IX*, Pande & Pietruszczak (eds.), Balkema, pp. 661-667.

C161 Guéguen Ph., Kham M., Chazelas J.-L., Weissenbacher R., Bard P.-Y., Semblat J.-F. (2004) Ground motion in urban areas : combined effects of site conditions and soil structure interaction. *13th World Conference on Earthquake Engineering,* Vancouver, August 2004.

C162 Guéguen Ph., Garambois S., Cravoisier S., Jongmans D. (2004) Geotechnical, geophysical and seismological methods for surface sedimentary layers analysis. *13th World Conference on Earthquake Engineering,* Vancouver, August 2004, paper 1777.

C163 Hammoutème M., Tiliouine B., Bard P.-Y. (2004) Caractérisation stochastique des mouvements sismiques tenant compte du contexte géotechnique du site. *Colloque international de Géotechnique,* Beyrouth, 19-22 mai 2004, pp. 971-978.

C164 Justo J-L., Bustamante M., Jaramillo A., Durand P., Romero R., Soriano C. (2004) Pathologie des

fondations superficielles et travaux de réparation. *Symposium International sur les Fondations Superficielles*, FONDSUP, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, vol. 2., pp. 261-305.

C165 Léonard C., Potherat P., Benôt R. (2004) Utilisation de la radiométrie infrarouge thermique pour la localisation de marnières en Normandie. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie, JNGG,* Lille, 28-30 juin 2004, pp. 365-372.

C166 Magnan J.-P., Droniuc N., Canépa Y. (2004) Les méthodes de calcul de la portance des fondations superficielles. *Symposium International sur les Fondations Superficielles*, FONDSUP, Magnan (ed.), Presses de l'ENPC/LCPC, vol. 2., pp. 79-154.

C167 Maldonado A., Burgunder D., Soulié M.C. (2004) Technical and Scientific Indo-French Co-operation - Road techniques - Quality and Sustainable Development, Focus on aggregates production for highway construction. - Indo-French cooperation. *Séminaire International*, Ahmadabad, Inde, 14 p.

C168 Marten S., Delattre L., Lavisse J., Gobert J.-L. (2004) Premières observations sur le comportement d'un panneau de paroi moulée instrumenté au nouveau port extérieur du Havre. *VIIIèmes Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil*, Compiègne.

C169 Marten S., Delattre L., Nguyen Ph.-D., Bourgeois E., Joignant Ph., Gobert J.-L. (2004) The new deep water quay "Port 2000" of Le Havre, France: field monitoring and performance prediction using a FEM-coupled model. *Numerical Models in Geomechanics, NUMOG IX*, Pande & Pietruszczak (eds.), Balkema, pp. 565-571.

C170 Mestat Ph., Dhouib A., Magnan J.-P., Canépa Y. (2004) Résultats de l'exercice de prévision des tassements d'un remblai construit sur des colonnes ballastées. *Symposium international sur l'Amélioration des sols en place, ASEP-GI 2004,* Magnan (ed.), vol. 2, Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 599-611.

C171 Mestat Ph., Droniuc N., Magnan J.-P., Humbert P. (2004) Numerical simulations of partially supported excavations. *Numerical Models in Geomechanics, NUMOG IX*, Pande & Pietruszczak (eds.), Balkema, pp. 559-564.

C172 Mestat Ph., Riou Y. (2004) A database for case histories and numerical modelling. *5th Int. Conf. on Case Histories in Geotechnical Engineering*, NewYork, 13-17 avril, cédérom, 8 p.

C173 Mestat Ph., Riou Y. (2004) Performances des modèles numériques utilisés pour l'étude du renforcement des massifs par colonnes de sol amélioré. *Colloque international de Géotechnique*, Beyrouth, 19-22 mai 2004, pp. 263-268.

C174 Mestat Ph., Riou Y. (2004) Validation des modèles numériques de sol amélioré par colonnes. *Symposium international sur l'Amélioration des sols en place, ASEP-GI 2004,* Dhouib et al. (eds), Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 229-243.

C175 Mestat Ph., Riou Y., Frank R., Garnier J., Humbert P. (2004) Performance of the Vermeer's model in numerical modelling. *Geotechnical Innovations*, Brinkgreve et al. (eds), Verlag Glückauf GmbH, Essen, pp. 585-597.

C176 Pouya A., Courtois A., Su K. (2004) Estimation numérique des propriétés hydromécaniques d'un granite. *Colloque international de Géotechnique,* Beyrouth, 19-22 mai 2004, pp. 827-832.

C177 Reiffsteck Ph. (2004) Field evaluation of the LCPC in situ triaxial test. *ISC-2 on Geotechnical and Geophysical Site Characterization*, Viana da Fonseca & Mayne (eds.), Millpress, Rotterdam, pp. 783-786.

C178 Reiffsteck Ph. (2004) Érodabilité des sols dans le cadre des terrassements. *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie, JNGG,* Lille, 28-30 juin 2004, pp. 65-72.

C179 Remaud D., Bourgeois E. (2004) Exercice de calcul du tassement de colonnes ballastées. Calcul avec CESAR-LCPC. *Symposium international sur l'Amélioration des sols en place, ASEP-GI 2004,* Magnan (ed.), vol. 2, Presses de l'ENPC/LCPC, pp. 643-646.

C180 Rocher-Lacoste F., Borel S., Gianeselli L. (2004) Comparative behaviour and performances of impact and vibratory driven piles in stiff clay. *Cyclic Behaviour of Soils and Liquefaction Phenomena*, Triantafyllidis (ed), Taylor and Francis Group, London, pp. 533-540.

C181 Rospars C., Bourgeois E., Humbert P., de Buhan P. (2004) Modélisation numérique de la construction d'un mur expérimental en Terre Armée à Bourron-Marlotte à l'aide d'un modèle homogénéisé. *Colloque international de Géotechnique*, Beyrouth, 19-22 mai 2004, pp. 275-280.

C182 Semblat J.-F., Kham M., Guéguen Ph., Bard P.-Y. (2004) Could "site-city interaction" modify site effects in urban areas ? *13th World Conference on Earthquake Engineering,* Vancouver, August 2004, Paper 1978.

C183 Sieffert J.G., Borel S. (2004) Toe and shaft resistance analysis during the vibratory driving of piles in Montoir. *Cyclic Behaviour of Soils and Liquefaction Phenomena*, Triantafyllidis (ed), Taylor and Francis Group, London, pp. 541-548.

C184 Theodulidis N., Cultrera G., Tento A., Faeh D., Atakan K., Bard P.-Y., Panou A. and SESAME-Team (2004) Empirical evaluation of the horizontal-to-vertical spectral ratio technique: results from the SESAME project. *13th World Conference on Earthquake Engineering,* Vancouver, August 2004, Paper 2323.

6. Communications rédigées et acceptées pour publication en 2005

C185 Bustamante M., Boato R. (2005) Exemples d'utilisation des boues polymères pour le forage des pieux : limitations et avantages. *16ème Conf. Int. de Mécanique des Sols et de Géotechnique*, Osaka, 12-16 septembre 2005.

C186 Bustamante M., Vetroff P., de Justo J.L. (2005) Les fondations du deuxième pont ferroviaire d'Argenteuil. *16ème Conf. Int. de Mécanique des Sols et de Géotechnique*, Osaka, 12-16 septembre 2005.

C187 Coquillay S., Bourgeois E., Mestat Ph. (2005) A non-linear elastic-perfectly plastic model for the simulation of the Hochstetten sheet pile wall. *11th International Conference of IACMAG*, Turin, 19-24 juin 2005.

C188 Guédon-Dubied S., Dandé D., Martineau F., Maloula A. (2005) Measure of the resonant frequency of stones and concretes using a new device. Application to a 18th century construction. *Congrès ART 05,* Université de Lecce (Italie), mai 2005.

C189 Magnan J.-P., Droniuc N., Canépa Y. (2005) Réflexions sur la conception des colonnes ballastées. *16ème Conf. Int. de Mécanique des Sols et de Géotechnique*, Osaka, 12-16 septembre 2005.

C190 Maldonado A. (2005) Road engineering practices dedicated to a sustainable development critical test facilities for a cooperation with developing countries. *Int. Symp. GEOLINE 2005, Geology and linear infrastructures*, Lyon, 33-25 mai 2005.

C191 Maldonado A., Le Bechec J. (2005) Platform of research facilities dedicated to the large-scale european infrastructures. TREE a tool for the european competitiveness. *Int. Symp. GEOLINE 2005, Geology and linear infrastructures*, Lyon, 33-25 mai 2005.

C192 Maldonado A., Mestat Ph., Garnier J. (2005) Risk analysis in the fields of geotechnical and road engineering. Contributions from European large-scale research facilities. *Int. Symp. GEOLINE 2005, Geology and linear infrastructures*, Lyon, 33-25 mai 2005.

C193 Marten S., Delattre L., Joignant Ph., Gobert J.-L. (2005) Observations et prédictions du comportement d'un quai en paroi moulée au nouveau « Port 2000 », Le Havre, France. *16ème Conf. Int. de Mécanique des Sols et de Géotechnique*, Osaka, 12-16 septembre 2005.

C194 Mestat Ph., Bourgeois E., Riou Y. (2005) Performances des modèles d'éléments finis 3D en géotechnique. *16ème Conf. Int. de Mécanique des Sols et de Géotechnique*, Osaka, 12-16 septembre 2005.

C195 Mestat Ph., Riou Y. (2005) New developments of the MOMIS database applied to the performance of numerical modelling of underground excavations, *5th International Symposium Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, 15-17 juin 2005 – Amsterdam, Pays-Bas.

C196 Perlo S., Degny E., Frank R. (2005) Analyse de groupes de micropieux sous charge transversale par une méthode hybride. *16ème Conf. Int. de Mécanique des Sols et de Géotechnique*, Osaka, 12-16 septembre 2005.

C197 Pouya A., Maleki K., Desgrée P., Courtois A. (2005) Numerical modelling of the coupling between damage and permeability in the Geological Barrier. Application for the excavation damage zone around the radioactive waste storage deep galleries. *Colloque ANDRA*, Tours, janvier 2005.

C198 Reiffsteck Ph. (2005) Influence de la répartition granulométrique sur le comportement mécanique d'un sol. *16ème Conf. Int. de Mécanique des Sols et de Géotechnique*, Osaka, 12-16 septembre 2005.

C199 Riou Y., Mestat Ph. (2005) Results of a 3D academic benchmark test for geotechnical engineering. *11th International Conference of IACMAG*, Turin, 19-24 juin 2005.

C200 Rospars C., Bourgeois E., Humbert P., de Buhan P. (2005) Modélisation numérique des sols renforcés par un milieu continu homogénéisé. *16ème Conf. Int. de Mécanique des Sols et de Géotechnique*, Osaka, 12-16 septembre 2005.

C201 Vervier A., Bustamante M., Brémond J. (2005) Les travaux de reprise en sous-œuvre d'un édifice historique du 17ème siècle : le musée Fabre de Montpellier. *16ème Conf. Int. de Mécanique des Sols et de Géotechnique*, Osaka, 12-16 septembre 2005.

7. Coordination d'un ouvrage collectif (livres et actes de congrès)

CO1 Mestat Ph., Prat M., Riou Y. (2001) Modélisation et enseignement. Enseignement de la modélisation par éléments finis dans les formations de génie civil. *Revue Française de Génie Civil*, vol. 5, Hors série, éditions Hermès Sciences.

CO2 Durville J.-L. (2001) *Guide technique sur les parades rocheuses*, éditions LCPC, 143 p.

CO3 Mestat Ph. (2002) *Proceedings of the 5th European Conference Numerical Methods in Geotechnical Engineering*. Presses de l'ENPC/LCPC, 1088 p.

CO4 Magnan J.-P., Droniuc N. (2003) *Actes du Symposium International sur les Fondations Superficielles,* vol. 1, Presses de l'ENPC/LCPC, 550 p.

CO5 Dhouib A., Magnan J.-P., Mestat Ph. (2004) *Actes du Symposium International sur l'Amélioration des sols en place,* vol. 1, Presses de l'ENPC/LCPC, 498 p.

8. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches

Mestat Ph. (2003) *De la rhéologie des sols à l'ouvrage géotechnique : contribution à la modélisation numérique*. Université des Sciences et Technologies de Lille, 179 p.

Guédon-Dubied S. (2005) *La pétrographie : de la carrière à l'ouvrage*. Université d'Orsay Paris XI, 130 p.

9. Autres communications (sans actes)

Congrès internationaux – Exemples de communications sans actes

CI1 Bard P.-Y. (2001) Seismic hazard in large alpine valleys: the example of the Grenoble area and lessons for microzonation. Invited key-note lecture. *Tenth Conference on the Italian Association of Earthquake Engineering,* Potenza-Matera, September 9-13, 2001.

CI2 Bard P.-Y. (2001) From soil-structure interaction to site-city interaction: may urban development modify the local seismic hazard ? *18th Symposium of the International School of Geophysics "Advances in the assessment of earthquake and volcanic hazards",* Session II: Modeling and prediction of strong ground motion, EMCSC, Erice, Sicily, 5 - 15 July, 2001.

CI3 Bettig B., Bard P.-Y., Scherbaum F., Moczo P. (2001) Dense array measurements of ambient vibrations in the Grenoble basin. Calibration of the modified SPatial Auto-Correlation (SPAC) method. *Session SE12.4, EGS 2001*, Nice, March 2001.

CI4 Cornou C., Bard P.-Y., Dietrich M., Hatzfeld D. (2001) Results from a dense array experiment in the Grenoble basin. *Session SE12.4, EGS 2001*, Nice, March 2001.

CI5 Bard P.-Y. (2001) Le paysage de l'expertise en matière de risque sismique en France. *Présentation à l'Ecole Thématique CNRS – L'expertise dans le domaine de l'environnement,* Les Houches 16-21 Septembre 2001.

CI6 Sèbe O., Bard P.-Y., Guilbert J. (2002) Site effect estimation by multichannel blind deconvolution method: application to Garner Valley down-hole array. *Session SE5.05, EGS2002,* Nice, April 2002.

CI7 Cornou O., Bard P.-Y., Dietrich M. (2002) Standard spectral ratio over H/V ratio: an indicator of the proportion of edge –generated surface waves ? *Session SE5.05, EGS2002,* Nice, April 2002.

CI8 Semblat J.-F., Kham M., Guéguen Ph., Bard P.-Y. (2002) Buildings as secondary seismic sources. *Session SE5.05, EGS2002,* Nice, April 2002.

CI9 Hatzfeld D., Bard P.-Y., Beauducel F., Berge C., Bernard P., Bertrand E., Beys P., Blarel F., Brunel D., Cotton F., Courboulex F., Deschamps A., Dominique P., Granet M., Gueguen Ph., Lebrun B., Maron C., Nicolas M., Piquet T., Souriau A., Vidal S., Viodé J.-P. (2002) The French accelerometric network (RAP): a free access to data, *XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC),* Genova, 2-6 September 2002.

CI10 Lebrun B., Duval A.-M., Vidal S., Bour M., Bard P.-Y., Monge O., Fabriol H. (2002) Site effect study in Pointe-à-Pitre, *XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission (ESC),* Genova, 2-6 September 2002

CI11 Sèbe O., Guilbert J., Bard P.-Y. (2002) Application of blind deconvolution methods in two seismological examples : A transfer function evaluation (Site effect assessment at GVDA) . B : Source wavelet evaluation (Kursk). Abstract S12A-1178, *AGU Fall meeting,* San Francisco, December 2002.

CI12 Bard P.-Y., Chazelas J.-L., Guéguen Ph., Kham M., Semblat J.-F. (2003) site effects in urban areas : recent results on site city interaction. Paper SS04/07A/A03-004, *XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics IUGG'03,* Sapporo (Japan), June 30 – July 11, 2003.

CI13 Bard P.-Y., Haghshenas E., Jafari M., Hatzfeld D. (2003) Preliminary results of site effects assessment in the city of Tehran (Iran) using earthquake and microtremor recording. Paper SS04a/09P/D-048 Poster 1400-297, *XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics IUGG'03,* Sapporo (Japan), June 30 – July 11, 2003.

CI14 Moczo P., Kristek J., Cornou C., Bonnefoy-Claudet S., Bard P.-Y. (2003) Finite-difference simulation of seismic noise in surface geologic structures. Paper SS04/07A/A03-007, *XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics IUGG'03,* Sapporo (Japan), June 30 – July 11, 2003.

CI15 Chaljub E., Cornou C., Guéguen Ph., Komatitsch D. (2004) Spectral element modeling of strong ground motion in the Grenoble basin. *Conf. European Geophysical Union*, Nice, France, April 25-30, paper EGU04-A-03529.

CI16 Guillier B., Machane D., Oubaiche E.H., Chatelain J.-L., Ait Meziane Y., Ben Salem R., Dunand F., Guéguen Ph., Hadid M., Hellel M., Kiboua A., Laouami N., Mezouer N., Nour A., Remas A. (2004) Preliminary results for soil amplification after the 05 May 2003 Boumerdes earthquake – Algeria. *Conf. European Geophysical Union*, Nice, France, April 25-30, paper EGU04-A-06882.

CI17 Kham M., Semblat J.-F., Bard P.-Y., Guéguen Ph. (2004) Site-city interaction in alluvial basins. *Conf. European Geophysical Union*, Nice, France, April 25-30, paper EGU04-A-07197.

CI18 Bonnefoy-Claudet S., Cornou C., Ohrnberger M., Wathelet M., Bard P.-Y., Cotton F., Fäh D. (2004) Excitation of Rayleigh waves higher modes in seismic ambient noise. *XXIXth European Seismological Commission, Session F3,* September 2004.

CI19 Atakan K., Bard P.-Y., Cara F., Chatelain J.-L., Cultrera G., Duval A.-M., Guillier B., Kind F., Moreno B., Roquette P., Tento A., Teves-Costa P. (2004) J-SESAME: a dedicated software for H/V spectral ratios. *XXIXth European Seismological Commission, Session F3,* September 2004.

CI20 Panou A., Cornou C., Theodulidis N., Hatzidimitriou P., Bard P.-Y., Papazachos C.B. (2004) Modelling of ambient noise horizontal-to-vertical spectral ratio in laterally varying structures: the case of the city of Thessaloniki (Northern Greece). *XXIXth European Seismological Commission, Session F3,* September 2004.

CI21 Bustamante M. (2003) Pile tests and French practice. *Conf. Européenne de Mécanique des sols et de Géotechnique*, Prague août 2003.

Manifestations nationales – Exemples de communications sans actes

Séances techniques du Comité Français de Mécanique des Sols

CF1 Bard P.-Y. (2001) Aléa sismique : structure de la cuvette grenobloise et effets de site. *Risques naturels en montagne : géologie, géotechnique et génie civil.* 22 mars 2001.

CF2 Bourgeois E. (2003) Prise en compte de l'eau dans les calculs numériques. *Logiciels 1 : des outils pour calculer*, 3 avril 2003.

CF3 Bustamante M. (2001) Instrumentation des micropieux. *Les micropieux : recherches, normalisation, pratique*. 25 avril 2001.

CF4 Mestat Ph. (2003) Groupe de travail CFMS sur la « Modélisation numérique ». Validation des logicels de calcul – Enjeux et méthodologies. *Logiciels 1 : des outils pour calculer*, 3 avril 2003.

CF5 Reiffsteck Ph. (2003) Asservissement et exploitation des essais en géotechnique. *Logiciels 2 : logiciels pour gérer et analyser les données géotechniques*, 22 mai 2003.

CF6 Reiffsteck Ph. (2004) Développement de nouveaux matériels pour les reconnaissances. *Investigation et reconnaissances.* 16 décembre 2004.

Manifestations du réseau des LPC – Exemples de communications sans actes

LC1 Mestat Ph. (2004) Modélisation des fondations profondes par la méthode des éléments finis. *Journées de Mécanique des sols des LPC*, Rouen, 21 et 22 janvier 2004.

LC2 Bustamante M. (2004) Instrumentation des fondations profondes. *Journées de Mécanique des sols des LPC*, Rouen, 21 et 22 janvier 2004.

LC3 Guédon-Dubied S. (2004) Futur grand équipement : le MEB environnemental. *Journées de Géologie des LPC,* Ax-les-Thermes, 5-7 octobre 2004.

LC4 Reiffsteck Ph. (2004) Présentation d'une nouvelle opération de recherche. *Journées de Géologie des LPC,* Ax-les-Thermes, 5-7 octobre 2004.

LC5 Pouya A. (2004) Présentation de l'opération de recherche « Risque rocheux ». *Journées de Géologie des LPC,* Ax-les-Thermes, 5-7 octobre 2004.

10. Collection Études et Recherches des LPC

GT 70 Sassi K., Magnan J.P. (2001) Application de l'analyse limite cinématique régularisée à l'étude de la stabilité des pentes. *Études et recherches des LPC, série Géotechnique*, GT 70, 240 p.

GT 72 Al Hallak R., Leca E., Magnan J.-P., Garnier J. (2001) Étude expérimentale et numérique du renforcement du front de taille par boulonnage dans les tunnels en terrain meuble. *Études et recherches des LPC, série Géotechnique*, GT 72, 192 p.

GT 73 Borel S. (2001) Comportement et dimensionnement des fondations mixtes. *Études et recherches des LPC, série Géotechnique*, GT 73, 345 p.

GT 74 Hadjadji T., Frank R., Degny E. (2002) Analyse du comportement expérimental de pieux sous chargements horizontaux. *Études et recherches des LPC, série Géotechnique*, GT 74, 303 p.

GT 76 Droniuc N., Magnan J.-P., Humbert P., Mestat Ph. (2003) Analyse limite – Bases théoriques et mise en œuvre de la méthode cinématique régularisée. *Études et recherches des LPC, série Géotechnique*, GT 76, 148 p.

11. Méthodes d'essai

M1 Bustamante M., Gianeselli L. (2002) La mesure des déformations à l'aide des extensomètres amovibles LPC , *Méthode d'essai LPC n°34,* nouvelle édition janvier 2002, 16 p.

M2 Guédon-Dubied S. (2003) Essai par granulométrie laser. *Méthode d'essai LPC,* à paraître, 9 p.

12. Fascicules réglementaires et guides techniques

FG1 Parades contre les instabilités rocheuses (2001).

FG3 *Evaluation des aléas liés aux cavités souterraines*. Collection Environnement – Les risques naturels. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, juin 2002, 132 p.

FG4 AFGC (2004) Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages. « Maîtrise de la durabilité vis-à-vis de la corrosion des armatures et de l'alcali-réaction ». État de l'art et guide de mise en œuvre d'une approche performantielle et prédictive sur la base d'indicateurs de durabilité. Juillet 2004. (œuvre collective, participation de S. Guedon-Dubied). *Collection Documents Scientifiques et techniques de l'AFGC,* 252 p.

FG5 SESAME (2004) Guide d'utilisation de la méthode « H/V bruit de fond ».

FG6 Recommandations du Groupe de travail n°29 de l'AFTES (texte collectif). Utilisation des règles et normes générales de conception et de dimensionnement pour les revêtements de tunnels en béton armé et non armé. *Tunnels et ouvrages souterrains*, n° 165, mai-juin 2001, pp. 150-158.

FG7 Recommandations du Groupe de travail n°32 de l'AFTES (texte collectif). Prise en compte des risques géotechniques dans les dossiers de consultation des entreprises pour les projets de tunnel. *Tunnels et ouvrages souterrains*, n° 185, septembre-octobre 2004, pp. 316-327.

Note les recommandations de l'AFTES n'ont pas de caractère réglementaire.

13. Cours polycopiés

CP1 Mestat Ph. (2001) Cours d'interactions sol-structures en statique. Mastère MSROE, ENPC.

CP2 Mestat Ph. (2002) Cours de calculs 3D en génie civil. École doctorale MODES, ENPC.

CP3 Bard P.-Y. (2003) Notes de cours, module « Sismologie de l'ingénieur ». Cours ENPC Conception parasismique, novembre 2003 (21 p. + 34 figures) + présentations powerpoint.

CP4 Mestat Ph. (2004) Interactions sol-structures en statique. Recueil d'exercices. Mastère MSROE, ENPC.

CP5 Mestat Ph. (2004) Éléments finis en comportement non linéaire. Recueil d'exercices. Mastère MSROE, ENPC.

14. Rapports internes du LCPC

Il s'agit de documents destinés aux responsables d'opérations de recherche dans lesquelles étaient programmées les activités de recherche de la division MSRGI de 2001 à 2004. Ces rapports ont été rédigés en cours ou au terme d'une recherche.

R1 Léonard C. (2002) Manuel d'utilisation du logiciel de traitement interférométrique DIAPASON. Rapport interne, division MSRGI, LCPC.

R2 Mestat Ph. (2002) Rapport d'activités 2001 de la division MSRGI, février 2002.

R3 Mestat Ph. (2002) Base de données MOMIS. Modélisation des parois moulées. Comparaison entre comportements observés et résultats de modélisations numériques. Octobre 2002, 1ère édition.

R4 Reiffsteck Ph. (2002) Cahier des charges du P.A.F. 2000. Partie 1 : sonde - Version 6, 80 p.

R5 Reiffsteck Ph. (2002) Cahier des charges du P.A.F. 2000. Partie 2 : logiciel - Version 2, 39 p.

R4 Bourgeois E. (2003) Projet CASTOR : Bilan de l'année 2002 (PHASE 1 : mise en service des accélérateurs de convergence - PHASE 2 : réflexions préliminaires pour la prise en compte du glissement sol-inclusion), 26 p.

R5 Dimnet E. (2003) Aspects théoriques et pratiques de la simulation numérique d'éboulements rocheux. 29 p.

R6 Dimnet E. (2003) Les élements d'analyse convexe utiles à la modélisation en mécanique des chocs. 4 p.

R7 Léonard C. (2003) Étude de la stabilité des terrains sur la ville de Rimogne par interférométrie radar. Rapport interne, division MSRGI, LCPC.

R8 Léonard C. (2003) Étude de la dissolution du gypse sur la ville de Villepinte par interférométrie radar. Rapport interne, division MSRGI, LCPC.

R9 Léonard C. (2003) Détection de marnières en Normandie par radiométrie infrarouge thermique : redressement d'images en vue d'une superposition au plan cadastral au 1/5000. Rapport interne, division MSRGI, LCPC.

R10 Mestat Ph. (2003) Rapport d'activités 2002 de la division MSRGI, février 2003.

R11 Mestat Ph. (2003) Suivi de la mise en œuvre des recommandations du Conseil Scientifique du LCPC pour la division MSRGI (texte du 6 juin 2001), février 2003.

R12 Mestat Ph. (2003) Rapport d'activités 1999-2002 de la division MSRGI – Rapport pour la reconnaissance de la structure fédérative de recherche Institut Navier, avril 2003.

R13 Reiffsteck Ph. (2003) Utilisation du CPS100 - Test à Cubzac-les-Ponts, 13 p.

R14 Reiffsteck Ph. (2003) Essai triaxial in situ. Cahier des charges et suivi, 59 p.

R15 Reiffsteck Ph. (2003) Mode opératoire. Appareil pour essais triaxiaux sur éprouvettes cylindriques creuses, 59 p.

R16 Reiffsteck Ph. (2003) Hollow cylinder torsional shear tests on Oostvaardersplassen clay, Convention Geodelft-LCPC, 3 parties, 75 p.

R17 Reiffsteck Ph. (2003) Caractérisation des sols Trémie Pasteur – Rouen, 3 parties, 66 p.

R18 Reiffsteck Ph. (2003) Remblai sur inclusions rigides de Harfleur. Partie 1 Campagne de prélèvement, 19 p.

R19 Reiffsteck Ph. (2003) Remblai sur inclusions rigides de Harfleur. Partie 2 Caractérisation des sols, 12 p.

R20 Reiffsteck Ph. (2003) Essais de chargement en vraie grandeur sur les formations gonflantes de Ouarzazate, 49 p.

R21 Reiffsteck Ph. (2003) Compactabilité d'un sol reconstitué traité à la chaux, 54 p.

R22 Reiffsteck Ph. (2003) Caractérisation des sols Merville, 41 p.

R23 Borel S., Reiffsteck Ph. (2004) Rapport de clôture opération de recherche « Caractérisation de la déformabilité des sols au moyen des essais en place » (1999-2002).

R24 Bourgeois E. (2004) Cahier des charges de l'opération « Maîtriser les mouvements liés aux travaux urbains », novembre 2004.

R25 Bourgeois E. (2004) Note sur la traduction en anglais et en espagnol du solveur Denebola de Denewin-LCPC, 9 p.

R26 Bourgeois E. (2004) Le couplage hydromécanique dans les calculs par éléments finis avec le module MCNL de CESAR-LCPC, 113 p.

R27 Bourgeois E. (2004) Opération de recherche 11F021 : effets des travaux sur le patrimoine urbain - rapport final, 183 p.

R28 Bourgeois E. (2004) Note sur la programmation du modèle de comportement associé au critère de Hoek et Brown (IMOD=24), 21 p.

R29 Dimnet E. (2004) Etude numérique de la dispersion des résultats trajectographiques. 20p. + annexes.

R30 Dimnet E. (2004) Choc instantanné dans un fluide incompressible : Théorie et programme C++. 20 p.

R31 Dimnet E. (2004) Fonctionnement du moteur de calcul trajectographique STAR3D. 22 p.

R32 Mestat Ph. (2004) Rapport d'activités 2003 de la division MSRGI, février 2004.

R33 Mestat Ph. (2004) Base de données MOMIS. Modélisation des ouvrages souterrains. Comparaison entre comportements observés et résultats de modélisations numériques. Mars 2004, 9ème édition augmentée.

R34 Mestat Ph. (2004) Notes pour une évolution du module MCNL de CESAR-LCPC. Programmation de lois de comportement élastoplastiques à un seul mécanisme plastique. Mars 2004.

R35 Mestat Ph. (2004) Base de données MOMIS. Modélisation des fondations superficielles. Comparaison entre comportements observés et résultats de modélisations numériques. Avril 2004, 1ère édition.

R36 Mestat Ph. (2004) Base de données MOMIS. Modélisation des rideaux de palplanches. Comparaison entre comportements observés et résultats de modélisations numériques. Avril 2004, 3ème édition augmentée.

R37 Mestat Ph. (2004) Base de données MOMIS. Modélisation des colonnes de sol amélioré. Comparaison entre comportements observés et résultats de modélisations numériques. Mai 2004, 1ère édition.

R38 Mestat Ph. (2004) Cahier des charges pour le développement d'une interface utilisateur pour des logiciels de calcul en géotechnique et propositions pour leur diffusion. Octobre 2004.

R39 Mestat Ph. (2004) Manuel d'organisation de l'unité – division MSRGI, octobre 2004, 6ème édition.

R40 Pouya A. (2004) Cahier des charges de l'opération « Risque rocheux », octobre 2004.

R41 Reiffsteck Ph. (2004) Compréhension de la stabilité superficielle des pentes : interaction climat, sol, végétation. 89 p.

R42 Reiffsteck Ph. (2004) Caractéristiques mécaniques d'un sol hétérogène : compactabilité, déformabilité, rupture. 130 p.

R43 Reiffsteck Ph. (2004) Rotation des contraintes et influence sur la rupture, 80 p.

R44 Reiffsteck Ph. (2004) Carottier A+. Cahier des charges et suivi. 47 p.

R45 Reiffsteck Ph. (2004) Générateur de Pression de Précision. Cahier des charges et suivi, 16 p.

R46 Reiffsteck Ph. (2004) Cellule Biaxiale. Cahier des charges et suivi, 59 p.

R47 Reiffsteck Ph. (2004) Appareil triaxial de grandes dimensions, 28 p.

R48 Bourgeois E. (2005) Projet CASTOR - Phase 3.1 : note de qualification (version 2), 22 p.

R49 Bourgeois E., Papon P., Coquillay S. (2005). Implantation dans MCNL de trois modèles de comportement (IMOD=25 : modules variant avec la profondeur ; IMOD=84 : Modèle de Fahey et Carter ; IMOD=85 : Cam-Clay avec élasticité non linéaire), 40 p.

R50 Mestat Ph. (2005) Rapport d'activités 2004 de la division MSRGI, février 2005.

R51 Mestat Ph. (2005) Base de données MOMIS. Modélisation des parois moulées. Comparaison entre comportements observés et résultats de modélisations numériques. Mars 2005, 2ème édition augmentée.

À ces rapports internes, il faut ajouter les 45 rapports de stagiaires rédigés au cours de cette même période.

D2. Mémoires de thèses

TH1 Borel S. (2001) *Comportement et dimensionnement des fondations mixtes*. Thèse de l'ENPC, juillet 2001.

TH2 Bultel F. (2001) *Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements de tunnels*. Thèse de l'ENPC, janvier 2001.

TH3 Droniuc N. (2001) *Développements et applications géotechniques du calcul à la rupture par la méthode des éléments finis*. Thèse de l'ENPC, mai 2001.

TH4 Duca V. (2001) *Étude expérimentale des composantes normales des contraintes totales en laboratoire et in situ*. Thèse de l'ENPC, 21 décembre 2001.

TH5 Lussou Ph. (2001) *Calcul du mouvement sismique associé à un séisme de référence pour un site donné avec prise en compte de l'effet de site. Méthode empirique linéaire et modélisation de l'effet non-linéaire*. Thèse UJF, soutenue le 29 octobre 2001, (P.Y. Bard, Co-Directeur de thèse avec F. Cotton, IRSN).

TH6 Moiriat D. (2001) *Évolution des désordres dans les carrières souterraines abandonnées.* Thèse de l'Université d'Orsay, 30 novembre 2001.

TH7 Cornou C. (2002) *Traitement d'antenne et imagerie sismique dans l'agglomération grenobloise (Alpes Françaises): implications pour les effets de site*, Thèse UJF, financement CNRS (BDI), soutenue le 15 mars 2002, (P.-Y. Bard, Co-Directeur de thèse avec M. Dietrich, LGIT).

TH8 Dimnet E. (2002) *Mouvements et collisions de solides rigides ou déformables*. Thèse de l'ENPC, 16 juillet 2002.

TH9 Beauval C. (2003) *Analyse des incertitudes dans une estimation probabiliste de l'aléa sismique, exemple de la France*. Thèse UJF, financement IRSN/BERSSIN, soutenue le 16 décembre 2003, (P.-Y. Bard, Co-Directeur de thèse avec O. Scotti, IRSN/BERSSIN)

TH10 Kormi T. (2003) *Modélisation numérique du gonflement des argiles non saturées*. Thèse de l'ENPC, décembre 2003.

TH11 Nguyen P. D. (2003) *Modélisation numérique par éléments finis des ouvrages de soutènement*. Thèse de l'ENPC, décembre 2003.

TH12 Kham M. (2004) *Propagation d'ondes sismiques dans les bassins sédimentaires : des effets de site à l'interaction site-ville.* Thèse de l'ENPC, soutenue le 15 mars 2004. (directeur de thèse P.-Y. Bard, co-encadrement avec J.-F. Semblat)

TH13 Nasreddine K. (2004) *Effet de la rotation des contraintes sur le comportement des sols argileux*. Thèse de l'ENPC, soutenue le 23 février 2004.

TH14 Ouffroukh H. (2004) *Comportement hydromécanique d'une roche granulaire et localisation des déformations.* Thèse de l'ENPC (collaboration CERMES-MSRGI), soutenue le 1er octobre 2004.

TH15 Sèbe O. (2004) *Déconvolution aveugle et sismologie : estimation de la source sismique et des effets de site.* Thèse UJF, financement BDI CEA/CNRS, soutenue le 20 juillet 2004, (directeur de thèse P.-Y. Bard, co-encadrement avec J. Guilbert, CEA/DASE/LDG).

TH16 Bonnefoy-Claudet S. (2004) *Modélisation du bruit de fond sismique et application à l'interprétation des mesures H/V et en réseau.* Thèse UJF, Financement UJF / LCPC / projet SESAME, soutenue le 8 décembre 2004 (directeur de thèse P.-Y. Bard, co-encadrement avec F.Cotton, UJF/LGIT).

TH17 Dunand F. (2005) *Pertinence du bruit de fond sismique pour la caractérisation dynamique et l'aide au diagnostic sismique des structures de génie civil*. Thèse UJF, Financement CIFRE Veritas / CNRS, soutenue le 28 janvier 2005 (directeur de thèse P.-Y. Bard).

D3. Listes des stagiaires de courte durée (2001-2004)

Année 2001

Nom du stagiaire	*Type de stage*	*Responsable*	*Sujet*
Touffic Yaïci	Centrale-DEA MSOE	Ph. Reiffsteck	Logiciel de pilotage d'un appareillage d'essai biaxial
Xavier Blaise Martin	CUST-TFE	Ph. Reiffsteck	Développement d'un appareil triaxial prédictif
Mariana Rakotoniriana	Centrale-DEA-MSOE	Ph. Mestat	Internet et la géotechnique urbaine
Rose Hamza	Centrale-DEA-MSOE	Ph. Mestat	Application de l'analyse limite au calcul des écrans partiellement soutenus
Nicolas Bayart	Centrale de Nantes	Ph. Mestat	Modélisation 3D d'une fondation superficielle carrée en bord de talus
Nicolas Freitag	ENPC-TFE	S. Borel	Remblai sur inclusion rigide. Instrumentation de la Rocade de Harfleur
Malcom Wakefield	ENSG-2ème année	JL Durville	Dimensionnement des parades contre les chutes de blocs
Mohammed Fandi Nasser	Géophysicien palestino-jordanien, accord MAE	P.-Y. Bard	Analyse de données de vibrations ambiantes sur un Ouvrage d'Art et ses appuis
Ebrahim Haghshenas	*DEA, MMGE, UJF/LGIT*	P.-Y. Bard C. Cornou	Détection et analyse des bouffées d'énergie observées dans le bruit de fond sismique à Grenoble
Sylvette Bonnefoy-Claudet.	*DEA, MMGE, UJF/LGIT*	P.-.Y Bard Ph. Guéguen	Interaction site-ville : application à Mexico et à Nice
François Degois	*Stage d'ingénieur, ISTG /UJF*	P.-Y. Bard C. Lacave	Effets de site : microzonage sismique de la vallée de Monthey et modélisation

Année 2002

Nom du stagiaire	*Type de stage*	*Responsable*	*Sujet*
Chadi Jarkass	Eudil-DEA	Ph. Mestat	Calcul d'erreurs dues à la discrétisation par éléments finis (convergence au sens du maillage)
Trinh	ECP-ENPC-MSOE-DEA	Ph. Mestat	Calcul des pentes par éléments finis
Pham	ECP-ENPC-MSOE-DEA	Ph. Reiffsteck JP Magnan	Fluage et consolidation de l'argile
Kalli Mohamed Zahreddine	ECP-ENPC-MSOE-DEA	Ph. Reiffsteck	Modes de rupture et valeur de l'angle de frottement
Tang	ECP-ENPC-MSOE-DEA	Ph. Mestat	Influence des paramètres sur la modélisation de tunnel et d'excavation
Modjabi	ECP-ENPC-MSOE-DEA	Ph. Mestat	Influence des paramètres des lois de comportement
Nguyen Truong	ECP-ENPC-MSOE-DEA	N. Droniuc	Calcul des soutènements par la méthode cinématique régularisée

Année 2003

Nom du stagiaire	*Type de stage*	*Responsable*	*Sujet*
Audrey Savajol	ECP-ENPC-MSOE-DEA	A. Pouya O. Fouché	Modélisation de la fracturation du massif pour le projet de tunnel « Lyon-Turin »
Aoutif Bakkari	ECP-ENPC-MSOE-DEA	N. Droniuc	Stabilité du front de taille des tunnels en présence d'eau
F. Coulibaly	ECP-ENPC-MSOE-DEA	N. Droniuc	Calcul de soutènements par la méthode cinématique régularisée
J.-P. Karam	ECP-ENPC-MSOE-DEA	N. Droniuc	Calcul des ancres à succion
Myriam Nahum	Univ. Paris VI	Ph. Reiffsteck E. Dimnet	Étude des sols hétérogènes
Bernardin Bohi	ECP-ENPC-MSOE-DEA	Ph. Reiffsteck JP Magnan	Comportement des latérites en construction routière
Hassen Sabeur	ENPC-DEA-S3M	N. Droniuc	Comportement des colonnes ballastées (étude bibliographique, calcul, exemples)
David Morgan	ESIP-TFE	Ph. Reiffsteck	Essais de laboratoire
Martin Cardenas	ECP-ENPC-MSOE-DEA	JF Semblat JP Magnan	Propagation des ondes dans les sols urbains
Mehdi Belarbi	ECP-ENPC-MSOE-DEA	A. Maldonado	Contribution des grands équipements à l'étude du risque
Rémy Weissenbacher	DEA et Diplôme d'Ingénieur Géophysicien de l'EOST	Ph. Guéguen P.-Y. Bard	Interaction site – ville : modélisation comparative et interprétation.
Areti Panou	Doctorante Université de Thessalonique	P.-Y. Bard C. Cornou	Analyse du bruit de fond sismique à Thessalonique et modélisation
A. Triaux	Univ. Orsay	C. Léonard A. Pouya	Modélisation numérique du glissement de La Clapière

Année 2004

Nom du stagiaire	*Type de stage*	*Responsable*	*Sujet*
Ali Samir	Paris VI	A. Pouya Ch. Léonard	Glissement visqueux de la Clapière
Nguyen Thai Quang	ECP-ENPC-MSOE-DEA	Ph. Mestat Ph. Reiffsteck	Étude de l'essai pressiométrique
Véronique Cagnon	Université Paul Sabatier de Toulouse Maîtrise	Ch. Léonard	Localisation de cavités par sismique réflexion haute résolution sur modèle réduit
Audrey Lestruhaut	Université Bordeaux	Ph. Reiffsteck	Érodabilité des sols
Nguyen Pham Phuong Thao	ECP-ENPC-MSOE-DEA	Ph. Reiffsteck	Étude des sols hétérogènes
Nguyen Minh Thanh	ECP-ENPC-MSOE-DEA	O. Fouché Ph. Reiffsteck	Tassement différentiel sur terrain hétérogène : apport d'un modèle géologique aux études géotechniques en contexte alluvial. Exemple de projet d'ouvrages sur la Gambie
Yahel Szerman	Maîtrise	A. Maldonado	Influence des inondations sur les caractéristiques du sol et du sous-sol
Sofia D'Aguiar	ECP-ENPC-MSOE-DEA	N. Droniuc	Étude de la rupture des ouvrages de soutènement par analyse limite. Bibliographie et calculs exploratoires
Olivier Castan	ECP-ENPC-MSOE-DEA	N. Droniuc	Calcul des fondations superficielles sur sols gonflants
Delphine Cuisinier	ECP-ENPC-MSOE-DEA	N. Droniuc	Comportement des colonnes ballastées dans les sols argileux
Taoufiq Jafni	ECP-ENPC-MSOE-DEA	E. Bourgeois	Utilisation d'un modèle élastique non linéaire parfaitement plastique pour le calcul des ouvrages géotechniques
Clotaire Michel	Diplôme d'Ingénieur Mines nancy + DEA MMGE	Ph. Guéguen	Vulnérabilité de bâtiments
Julien Banton	Diplôme d'Ingénieur Géotechnicien de l'UJF	Ph. Guéguen	Synthèse données géotechniques sur région grenobloise
Areti Panou	Doctorante Université de Thessalonique	P.-Y. Bard C. Cornou	Analyse du bruit de fond sismique à Thessalonique et modélisation

D4. Liste des équipements

La modernisation des laboratoires de Mécanique des Sols, de Mécanique des roches et de Microscopie s'est notamment traduite sur la période 2001-2004 par l'acquisition de plusieurs matériels nouveaux et la fabrication d'équipements innovants.

1. Laboratoire de Mécanique des sols

Oedomètres

Presses triaxiales avec mesures des petites déformations

Presse triaxiale pour éprouvette cylindrique creuse

Presse biaxiale pour des essais en déformation plane

2. Laboratoire de Mécanique des roches

Presses de mécanique des roches
10, 20, 50 et 100 t

Presse triaxiale haute pression commune avec le CERMES

Presse triaxiale haute-pression à forts confinements (jusqu'à 200 MPa), prêt de l'Université Joseph Fourier dans le cadre du GIS GEMAUN (LCPC-LIRIGM)

3. Laboratoire de microscopie

Microscope optique

Zétamètre

Microscope électronique à balayage

Microscope électronique à balayage de type environnemental (acquis en 2004)

4. Atelier de fondations

Équipements pour mesures *in situ* sur pieux, ancrages, etc.

Pressiomètre autoforeur de nouvelle génération (PAF2000)

Triaxial in situ

5. Réseau Accélérométrique Permanent (pour mémoire)

Stations d'acquisition accélérométriques (propriétaire légal : Université Joseph Fourier, Grenoble)

D5. Recommandations précédentes du Conseil scientifique du LCPC, suite à l'évaluation de la division MSRGI sur la période 1997-2000

CONSEIL SCIENTIFIQUE DU 6 JUIN 2001

EVALUATION DES UNITES DE RECHERCHE

RECOMMANDATIONS POUR LA DIVISION

MECANIQUE DES SOLS ET DES ROCHES ET GEOLOGIE DE L'INGENIEUR (MSRGI)

L'évaluation confirme l'excellence scientifique de la division dans tous les domaines qu'elle couvre. Elle montre des progrès certains depuis 1995 sur l'organisation et la clarification des programmes d'activité.

1. Des choix plus nets des activités de la division sont nécessaires, afin que celles-ci disposent de moyens suffisants et appropriés. Il convient d'une part de renforcer ce qui réussit particulièrement, par exemple l'activité « sismique », et d'autre part d'accorder un effort nouveau à des voies d'avenir ou détectées comme telles (thèmes environnementaux, notamment risques naturels, tunnels, ouvrages géotechniques urbains, sous-sols urbains). Le retrait de certaines activités doit être prévu et organisé de façon à ne pas perdre les acquis.

2. Les efforts récents pour un meilleur équilibre entre modélisation et expérimentation en faveur de cette dernière sont à poursuivre.

3. Un effort supplémentaire pour mieux valoriser les travaux de recherche et les faire connaître en particulier au plan international est indispensable.

4. Les partenariats, notamment internationaux, doivent être développés. La création et l'entretien de réseaux permanents dans les domaines d'action de la division doivent être recherchés activement ainsi que l'implication au plus haut niveau dans l'organisation de manifestations internationales.

5. Des habilitations à diriger des recherches doivent être préparées et soutenues rapidement.

D6. Liste des sigles utilisés

AFGC : Association Française pour le Génie Civil
AFPS : Association Française de Génie Parasismique
AFTES : Association Française des Travaux En Souterrain
AIGI : Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur
ANDRA : Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radio-Actifs
ASEP-GI : Amélioration des Sols En Place – Ground Improvement (symposium LCPC-ENPC)
AUGC : Association Universitaire de Génie Civil

BLPC : Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées
BRGM : Bureau de la Recherche Géologique et Minière

CECP : Centre d'Etude et de Construction de Prototypes (CETE)
CEFRACOR : Centre d'Etude Français de la Corrosion
CEMAGREF : Centre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
CEN : Comité Européen de Normalisation
CERMES : Centre d'Enseignement et de Recherche en Mécanique des Sols (Unité mixte ENPC-LCPC)
CETE : Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
CETMEF : Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales
CETU: Centre d'Etude des Tunnels
CFG : Comité Français des Géosynthétiques
CFGI : Comité Français de la Géologie de l'Ingénieur
CFMR : Comité Français de la Mécanique des Roches
CFMS : Comité Français de la Mécanique des Sols et Géotechnique
CGCP : Conseil Général des Ponts et Chaussées
CNAM : Conservatoire National des Arts et Métiers
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
COG : Calcul des Ouvrages Géotechniques (section de la division MSRGI)
CR : Chargé de Recherche
CSOG : Comportement des Sols et des Ouvrages Géotechniques (section de la division MSRGI)
CUST : Institut des Sciences de l'Ingénieur de l'Université Blaise Pascal (Université de Clermont-Ferrand)

DPPR : Direction de la Prévention des Risques Naturels (Ministère de l'Environnement)
DPR : Direction Des Programmes (LCPC)
DPR-MN : section Modèles Numériques (LCPC)
DR : Directeur de Recherche
DRAST : Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques (Ministère de l'Equipement)

ECP : Ecole Centrale de Paris
ECL : Ecole Centrale de Lyon
ECN : Ecole Centrale de Nantes
EDF : Electricité de France
ENPC : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
ENTPE : Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat
EPFL : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ERA : Equipe de Recherche Associée (CETE-LRPC)
EUDIL : Ecole Universitaire D'Ingénieurs de Lille (devenue Polytech'Lille)

FONDSUP : Fondations Superficielles

GEMAUN : Géotechnique Environnementale et Maîtrise des Aléas Urbains et Naturels
GIS : Groupement d'Intérêt Scientifique
GMRGE : Géologie, Mécanique des Roches et Géotechnique de l'Environnement (section de la division MSRGI)

ICSMGE : International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (série de congrès internationaux)
INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques majeurs
INPL : Institut National Polytechnique de Lorraine
INSA : Institut National des Sciences Appliquées
IRD : Institut de Recherche pour le Développement
IREX : Institut pour la Recherche Appliquée et l'Expérimentation en Génie Civil
ISP : International Symposium on Pressuremeter (symposium LCPC-ENPC)
ISRM : International Society for Rock Mechanics
ISSMGE : International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

LAM : Laboratoire (Université de Marne la Vallée
LAMI : Laboratoire de Matériaux et Identification (Unité mixte LCPC-ENPC)
LMS : Laboratoire de Mécanique des Solides (Ecole Polytechnique)
LMSGC : Laboratoire des Matériaux et des Structures du Génie Civil (Unité mixte LCPC-ENPC-CNRS)
LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LRPC : Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées
LPC : Laboratoire des Ponts et Chaussées
LRQA : Lloyd's Register Quality Assurance
LGIT : Laboratoire de Géophysique Interne et de Tectonophysique
LIRIGM : Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche Impliquant la Géologie et la Mécanique
LMA : Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (Université de Marseille)
LRMH : Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques
LERM : Laboratoire d'Etude et de Recherche sur les Matériaux
LNE : Laboratoire National d'Essais

MAE : Ministère des Affaires Etrangères
MAIF : Mutuelle Assurance des Instituteurs de France
MN : Modèles Numériques (section du LCPC)
MSRGI : Mécanique des Sols, des Roches et de la Géologie de l'Ingénieur (division du LCPC)

NUMGE : Numerical Methods in Geotechnical Engineering (série de congrès européens)
NUMOG : Numerical Models in Geomechanics (série de congrès internationaux)

PTTC : Presse Triaxiale pour éprouvette Cylindrique Creuse

RAP : Réseau Accélérométrique Permanent
RGCU : Réseau Génie Civil et Urbain
RILEM : Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de recherches sur les Matériaux et les constructions
RMS : Reconnaissance et Mécanique des Sols (division du LCPC)
RNVO : Risques Naturels et Vulnérabilité des Ouvrages

SETRA : Service Technique des Routes et Autoroutes
SIMSG : Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique
STBA : Service Technique des Bases Aériennes

TGCE : Technologies du Génie Civil et Environnement (division du LCPC)

UJF : Université Joseph Fourier (Grenoble)
ULP : Université Louis Pasteur (Strasbourg)
UMLV : Université de Marne-la-Vallée
UMR : Unité Mixte de Recherche
UNPG : Union Nationale des Producteurs de Granulats
USTL : Université des Sciences et Technologies de Lille